VISIT…

LANZAROTE Caliente.COM

21 коп.

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

52
Н/51

М. С. НАВАШИН

ИНСТРУКЦИЯ К ИЗГОТОВЛЕНИЮ САМОДЕЛЬНОГО ТЕЛЕСКОПА-РЕФЛЕКТОРА

1011

ИЗДАТЕЛЬСТВО
АКАДЕМИИ НАУК СССР

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
ВСЕСОЮЗНОЕ
АСТРОНОМО-ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО

М. С. НАВАШИН

ИНСТРУКЦИЯ К ИЗГОТОВЛЕНИЮ САМОДЕЛЬНОГО ТЕЛЕСКОПА-РЕФЛЕКТОРА





ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР
Москва 1962

Ответственный редактор

член-корреспондент АН СССР

Д. Д. МАКСУТОВ

ВВЕДЕНИЕ

За десять лет, протекшие со времени выхода в свет первого издания настоящей инструкции, интерес к любительскому телескопостроению непрерывно усиливался, а значение последнего прогрессивно возрастало. В соответствии с этим все более ощущается недостаток литературы по любительскому телескопостроению.

Предлагаемая инструкция предназначена для начинающих и теоретически мало подготовленных любителей. Поэтому мы ограничиваемся лишь описанием изготовления наиболее простого ньютоновского рефлектора со сферическим зеркалом. Однако не следует думать, что такой инструмент не способен дать хороших результатов. Напротив, за исключением тех случаев, где важно большое относительное отверстие или большое поле зрения (например, для наблюдения комет и искусственных спутников), он практически не уступит самому лучшему телескопу. В сравнении же с рефрактором одинакового свободного отверстия он в большинстве случаев окажется лучше.

Нет никакого сомнения в том, что для любителя-одиночки или для коллективов астрономов-любителей рефлектор продолжает оставаться единственным доступным инструментом (особенно если имеется в виду сколько-нибудь сильный инструмент). Однако купить его негде. Зато изготовление рефлектора своими силами не только вполне возможно, но само по себе служит превосходным средством для серьезного изучения основ конструкции астрономических инструментов, а главное — для усвоения практики обращения с ними и даже практики наблюдений.

Само собой разумеется, что многое зависит от технических навыков, способностей и от материальных возможностей. Мы имеем в виду лиц средней подготовки и притом не обладающих специальным оборудованием, вроде токарного станка и пр. Разумеется, читатель, имеющий в своем распоряжении такое оборудование, достигнет большего, особенно в отношении монтировки своего инструмента. Последняя задача нами рассматривается наиболее кратко, так как механическая часть телескопа

не может быть как следует изготовлена без соответственного оборудования.

Постройка совершенного штатива для сколько-нибудь сильного инструмента представляет самостоятельную задачу, едва ли более простую, чем изготовление оптической части телескопа. Поэтому читатель найдет ниже вполне достаточные указания в основном для изготовления оптической части рефлектора, притом относительно мощного. Если же он захочет снабдить свой инструмент столь же совершенной установкой, ему, почти наверное, придется прибегнуть к помощи мастерской, это, впрочем,

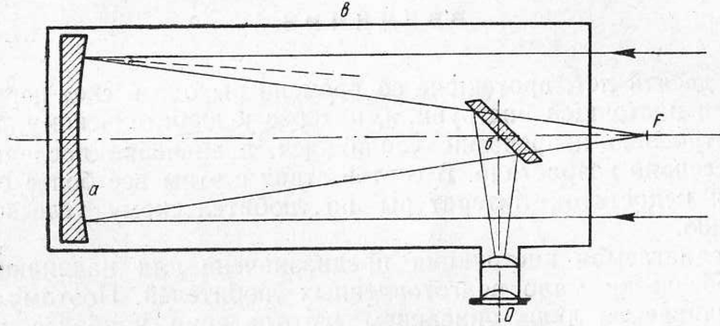


Рис. 1. Схема рефлектора системы Ньютона

а — главное вогнутое зеркало, образующее изображение светила в *F* (главный фокус); *б* — маленькое плоское зеркальце, поставленное перед фокусом под углом в 45° к оптической оси, отражает конус лучей в боковое отверстие трубы, где его рассматривают в окуляр *О*; *в* — труба

еще полбеды, так как всегда можно найти механика, который с большей или меньшей степенью совершенства выполнит заказ. Но в изготовлении главной части инструмента — его оптики — любитель может рассчитывать только на свои силы. Если же настоящей установки до поры до времени сделать и не удастся, то, как читатель увидит ниже, это не столь страшно, так как ряд интереснейших наблюдений можно проводить почти без всякой установки, правда, ценой значительных неудобств.

Нужно сказать наперед, что рекомендуемые ниже приемы вовсе не единственные пригодные для нашей цели. Напротив, почти каждую нашу задачу можно решить различными способами. Однако, ради краткости, нам пришлось в большинстве случаев выбирать какой-либо один из возможных способов; при выборе составитель, разумеется, отдавал предпочтение испытанному им лично.

Напомним, что телескоп системы Ньютона (рис. 1) состоит из вогнутого зеркала («главного зеркала»), служащего объективом, и из маленького плоского зеркальца («вспомогательного» или «диагонального»), поставленного под углом в 45° к оптической оси и отбрасывающего лучи, отраженные главным зеркалом вбок, в отверстие, сделанное в стенке трубы, где помещается окуляр или фотопластинка. Строго говоря, телескоп может дать безупречное изображение лишь в том случае, если поверхность его главного зеркала имеет параболическую (правильнее, параболоидальную) форму. Но если **относительное отверстие**, т. е. отношение поперечника зеркала к его фокусному расстоянию не превосходит определенной величины, то, как показывает расчет, практически можно без ущерба для дела обойтись зеркалом простой сферической (шаровой) формы. Его изготовление несравненно проще.

Дальше мы будем иметь в виду именно такое сферическое зеркало, изготовление которого вполне под силу начинающему. Однако это ни в коем случае не означает, что мы при этом жертвуем качеством инструмента; малая светосила лишь немного суживает границы применимости, например, инструмент делается менее пригодным для наблюдения туманностей и комет. Наблюдения Луны, Солнца, больших планет и звезд будут доступны не хуже, а, пожалуй, даже лучше, чем в случае применения инструмента одинакового диаметра, но с бо́льшим относительным отверстием главного зеркала.

Расчет показывает, что чем больше диаметр сферического зеркала, тем меньше должно быть его относительное отверстие; иначе изображения светил не будут достаточно отчетливы. Зеркало диаметром в 100 *мм* может иметь относительное отверстие не свыше 1 : 7,1, при диаметре в 150 *мм* оно не должно превосходить 1 : 8,1, а при диаметре в 200 *мм* нельзя переходить за 1 : 8,9. Таким образом, зеркало в 100 *мм* должно иметь фокусное расстояние не менее 71 *см*, зеркало в 150 *мм* — не менее 122 *см*, а в 200 *мм* — не менее 178 *см*. Подчеркиваем, что это низшие теоретические пределы. На практике лучше придерживаться более строгих норм, например взяв для зеркала в 150 *мм* фокусное расстояние в 130—140 *см*.

Обратимся теперь к самому изготовлению телескопа.

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ГЛАВНОГО ЗЕРКАЛА

1. Материалы и приспособления

Для изготовления одного зеркала необходимы два стеклянных круга (диска) из толстого зеркального («иллюминаторного») стекла. Один из них будет служить для обработки второго, из которого, в конце концов, получится зеркало. Гораздо

лучше в качестве материала для зеркала особое стекло «пирекс», отличающееся твердостью и главное очень низким термическим коэффициентом (т. е. малым коэффициентом расширения); значение последнего свойства станет нам скоро понятно. Однако и простое корабельное стекло вполне годится для зеркал диаметром не свыше 200—300 *мм*. Пузыри, камешки, свили и прочие недостатки стекла не страшны, лишь бы они не лежали слишком близко к поверхности. Очень важно, чтобы стекло было достаточно толсто и хорошо отожжено. Согласно техническим нормам, 100-миллиметровый диск должен иметь толщину не меньше 8 *мм*, 150-миллиметровый — 18 *мм*, а 200-миллиметровый — 32 *мм*.

Как ни странным это может показаться неискушенному читателю, слишком тонкое стекло будет гнуться от собственной тяжести и тем более при обработке.

Для того чтобы насколько возможно ослабить вред от изгибания стекла, необходимо принять предосторожности, о которых мы скоро скажем, когда речь пойдет о шлифовке. Если же стекло плохо отожжено, то его может покоробить. Края дисков должны иметь фаску, т. е. быть сточены наискось; это можно легко сделать обыкновенным бруском (лучше карборундовым) при обильном смачивании водой. Если при шлифовке фаска сотрется, ее надо обязательно возобновить.

Металл в качестве материала для зеркал обладает рядом преимуществ перед стеклом. Если удастся достать диски из нержавеющей стали (марка ЭЖ-2 или ЭЖ-3), то стоит попытаться изготовить металлическое зеркало. Надо только иметь в виду, что металл шлифуется во много раз медленнее, чем стекло; поэтому следует предварительно придать поверхностям приблизительно нужную форму (одному — вогнутую, другому — выпуклую, см. дальше стр. 9) при помощи рашпиля или шабера.

Шлифующий материал (абразив) нужно иметь различной крупности; самый крупный (№ 60—80) употребляется только для грубой шлифовки (обдирки), при помощи которой получают в стекле нужное сферическое углубление. Кроме самого крупного сорта, нужно иметь еще ряд более мелкозернистых сортов для грубой и тонкой шлифовки. Желательно иметь три крупных сорта — 80, 120 и 200. Для тонкой шлифовки необходимы наиболее мелкие сорта, так называемые минутники: 1-, 5-, 15-, 30- и 60-минутные.

Быстрее всего шлифует карборунд вследствие своей большой твердости, хуже — корунд или обыкновенный наждак.

Если минутников достать не удастся, то придется приготовить их самому (из абразива, растертого при первоначальной, грубой шлифовке). Для отделения самых крупных частиц (примерно № 120 и 200) нужно иметь соответствующие сита

(годится ткань для мукомольных сит соответственных номеров), более же мелкие отделяются о т м у ч и в а н и е м. Отмучивание производится таким образом. В объемистую и достаточно высокую банку (не ниже 40 *см*) кладут стертый карборунд или наждак, но ни в коем случае не оба вместе[1]; затем наливают почти до краев водой, тщательно взбалтывают и дают отстаиваться. Сливая воду через 1, 5, 15, 30 минут, 1 час в другие, совершенно чистые посудины, мы разделим смесь на фракции, состоящие из частиц все более и более мелких соответственно числу минут, в течение которых они оставались в воде во взвешенном состоянии. Самая мелкая фракция будет, конечно, 60-минутная (т. е. осевшая из воды, слитой после 1 часа отстаивания), самая крупная — одноминутная. Минутники лучше подвергнуть повторному отмучиванию, чтобы наверняка очистить от более крупных частиц, которые могли случайно в них попасть. Сливание надо производить очень осторожно, чтобы не взмутить осадка (лучше при помощи сифона).

Для изготовления полировальника необходимы смола и канифоль. Смола лучше всего древесная («пек»), но ее можно, без особого ущерба, заменить и простым гудроном (употребляемым для асфальтирования). Самое главное — придать смоле нужную твердость, что достигается прибавлением достаточного количества канифоли. Дальше мы будем подробнее говорить о составе смолы.

Полировка производится мельчайшим порошком красной окиси железа, лучшие сорта которого называются крокусом. Лучший крокус можно приготовить обжигом щавелевокислого железа. Желтый порошок щавелевокислого железа насыпают тонким слоем на железный лист и ставят в горячо протопленную печь, где он быстро темнеет и начинает тлеть. Через 1—2 мин. все органическое вещество сгорает и остается краснобурый мельчайший порошок окиси железа. Настоящий крокус можно, впрочем, заменить даже обыкновенной «мумией» в порошке — красной краской, употребляемой, между прочим, для грунтовки крыш. Самое главное,— чтобы в крокусе не было крупных частиц, которые при полировке непременно исцарапают зеркало. Поэтому его надо обязательно предварительно отмучивать и для работы брать только самую верхнюю часть порошка, осевшего после взбалтывания с водой. Кроме того, не лишне перед употреблением крокус растирать, лучше всего одним стеклом на другом стекле несколько большего размера. Чтобы стекла плотно соприкасались, их надо предварительно пришлифовать одно к другому 15-минутным наждаком.

[1] Карборунд и наждак имеют различный удельный вес и неодинаковую форму зерен; поэтому при отмучивании нельзя получить однородности фракций.

Самое главное для шлифовки — иметь устойчивый стол. Он может быть обыкновенной высоты, но таких размеров, чтобы можно было, ходя вокруг, легко доставать руками до середины. Вместо стола часто советуют пользоваться бочкой, наполненной для устойчивости песком, кирпичом и пр.; годится крепкий ящик и т. п. Кроме того, нужна квадратная толстая гладко оструганная доска, немного большего размера, чем будущее зеркало; на ней укрепляет один из стеклянных дисков при помощи трех равноотстоящих шурупов, пропущенных в бутылочные пробки или, лучше, продетых сквозь короткие отрезки резиновой трубки.

Как уже указывалось, стеклянный диск, даже и толстый, может прогибаться, особенно от нажима, необходимого при шлифовке; изгибание же обязательно вызовет появление неправильностей, которые могут испортить зеркало. Для предотвращения этой опасности стеклянный диск надо класть не просто на доску, а сделать на ней три опоры из пробок (можно резиновых), расположив их под углом 120° один относительно другого, так, чтобы они пришлись около удерживающих диск трех шурупов. Такой способ укрепления диска лучше всего обезопасит нас от вредного изгибания стекла.

Чтобы держать обрабатываемое стекло, нужно сделать деревянную ручку в виде кружка диаметром в 8—12 *см* (в зависимости от размера изготовляемого зеркала), к которому в центре привинчена «пуговка» в 2—3 *см* толщиной и 4—5 *см* высотой. Верхний край кружка, а также и «пуговка» должны быть хорошо закруглены, чтобы при работе они не натирали рук. Ручку приклеивают к диску следующим образом. Среднюю часть диска (если он не шлифован) надо заматировать наждаком средней крупности, разогреть диск и, смазав его слегка скипидаром, приложить к нему ручку, на которую предварительно налита растопленная смола. Пока смола еще не застыла, надо постараться придать ручке центральное положение. Обычно она держится очень хорошо. Чтобы снять ручку, достаточно ударить по ней сбоку, не сильно, но резко. Смола отличается тем, что при резком ударе разрушается, как хрупкое тело, а медленно действующей силе (нажиму) она, напротив, уступает, изменяя свою форму, как густая жидкость.

Для изготовления полировальника можно воспользоваться «фасетником», которым на теплой смоле выдавливают канавки (см. дальше). Он состоит из деревянного бруска квадратного сечения, толщиной около 2,5 *см* и длиной немного более диаметра зеркала. С двух противоположных сторон к нему привинчивают тонкие (около 5 *мм*) планочки около 3,5 *см* шириной так, что с одной стороны они выдаются на 10 *мм*. Фасетник будет иметь таким образом вид желобка, выдающиеся

бортики которого служат для выдавливания параллельных канавок в смоле. Можно обойтись и просто линейкой с закрученным краем. Лучше же всего «собирать» полировальник из квадратных плиточек смолы, заготовленных заранее (см. стр. 14—15).

Наконец, для испытания и контроля зеркала нужно иметь маленькую электрическую лампочку или керосиновую лампу с узким плоским фитилем, несколько гладко оструганных деревянных брусков небольшого размера, лезвие для безопасной бритвы и тонкую иглу.

2. Шлифовка

Первая часть работы состоит в том, чтобы вышлифовать в стеклянном диске нужное углубление, т. е. придать его поверхности вогнутость необходимой кривизны.

Способ шлифования необычайно прост. Укрепим один из стеклянных дисков на доске, положенной на рабочий стол (и, если нужно, то укрепленной на нем, как сказано, тремя шурупами). Насыпав на него с полчайной ложки карборунда или наждака № 60 и смочив водой, кладем сверху второй диск и, нажимая сильно, но равномерно, начинаем двигать его то к себе, то от себя, вместе с тем медленно двигаясь вокруг стола. Главное состоит в том, чтобы двигать верхний диск по нижнему по прямым линиям и по всем направлениям, но, по возможности, так, чтобы центр его каждый раз проходил над центром нижнего диска; тогда легче всего получить с самого начала правильное сферическое углубление. Но для этого нужно еще, чтобы, во-первых, каждое движение происходило по новому направлению и, во-вторых, шлифовку нужно вести так: сделав 2—3 движения («штриха») от себя и к себе, подвинуться вокруг стола, продолжая крепко держать диск, затем сделать опять 2—3 штриха и, перед тем как снова подвинуться вокруг стола, отпустить диск на время этого движения вокруг стола. Таким образом с каждым шагом вокруг стола верхний диск будет чуть-чуть поворачиваться относительно нижнего, а работающий будет в то же время медленно обходить вокруг обоих стекол, и штрихи будут совершаться по всем «румбам» (азимутам).

В результате верхнее стекло получит вогнутость, а нижнее — соответственную выпуклость. Это объясняется тем, что верхнее стекло, сдвигаясь с нижнего, соприкасается с ним тем меньшей поверхностью, чем сильнее оно сдвинуто (чем длиннее штрих), и следовательно его вес (плюс давление рук работающего) приходится на тем меньшую площадь. В то же время край верхнего стекла, свисая с нижнего, перевешивает тем сильнее, чем больше сдвиг. Легко понять, что в результате

максимум давления будет приходиться на среднюю часть верхнего стекла и на края нижнего. А чем сильнее давление, тем, конечно, сильнее стирание.

Заменяя стирающийся абразив свежим, будем шлифовать, пока не получим достаточного углубления. Величину этого углубления («стрелку») a нужно заранее вычислить по приближенной формуле

$$a = \frac{y^2}{4F},$$

где y — половина поперечника зеркала, а F — его фокусное расстояние. В случае 150-миллиметрового зеркала с фокусным расстоянием в 1500 *мм* будем иметь

$$a = \frac{75^2}{4 \times 1500} = \frac{5625}{6000} \approx 0{,}9\ мм.$$

Значит, центр нашего зеркала должен быть углублен относительно краев приблизительно на 0,9 *мм*. Измерить это углубление с достаточной точностью можно хорошей линейкой. Положив ее ребром поперек нашего будущего зеркала, мы увидим просвет, ширину которого в центре проще всего определить, подкладывая узкие бумажки, которые послужат своего рода «щупом». Толщина одной бумажки (обычно равная 0,05—0,10 *мм*) определится, если разделить толщину целой пачки (ее можно измерить просто миллиметровой линейкой) на число листов в пачке.

Форма образующегося углубления больше всего зависит от длины штриха, т. е. от того, насколько верхнее стекло сдвигается при шлифовке с нижнего. Первое время можно шлифовать длинными штрихами, передвигая верхнее стекло в каждую сторону на $1/3$ и даже на $1/2$ его радиуса. При такой длине штриха образование углубления идет быстрее, но средние части будущего зеркала получают слишком большую кривизну, по сравнению с краевыми. Чтобы исправить этот недостаток, незадолго до конца шлифовки, т. е. до достижения нужной кривизны, надо перейти на короткий штрих, передвигая стекло не более чем на $1/4$ радиуса в каждую сторону.

Кроме шлифовки по диаметру, существует гораздо более скорый способ шлифовки по хорде; он выгоден еще и в том отношении, что не ведет к напрасному сошлифовыванию стекла. Однако его можно рекомендовать только тем, кто уже приобрел некоторый опыт шлифовки.

При всей выгодности этого способа, он таит для начинающего ту опасность, что может повести к возникновению слишком большого углубления в средней части будущего зеркала. Конечно, если внимательно следить за ходом работы и не торопиться, то избежать этой опасности нетрудно. В том случае, если не удастся достать стекла достаточной толщины, придется волей-неволей прибегнуть к шлифовке по хорде. Техника этого способа несложна. Она состоит в том, что центр верхнего диска движется не по диаметру нижнего, а близ края, причем почти половина его свешивается; кроме того, шлифуют с сильным нажимом.

Заранее трудно сказать, сколько времени уйдет на то, чтобы вышлифовать нужное углубление. Начинающим для этого требуется обычно не менее 10 час.

Когда измерение покажет, что углубление достаточно, мы переходим к следующей части работы — к шлифовке более мелкими сортами абразива. Она имеет целью, во-первых, сгладить грубую матовость, покрывающую поверхность нашего диска, и тем подготовить его к полировке и, во-вторых, насколько возможно более приблизить форму поверхности к сферической. Шлифовку ведут так же, как и первоначальную («обдирку»), но избегая нажимать на стекло. Начиная с одноминутника, надо следить за тем, чтобы штрихи не были длиннее $1/4$ радиуса зеркала. Затем постепенно переходят ко все более и более тонким сортам, коль скоро все неровности от предыдущего более грубого сорта изгладились. Чем мельче карборунд или наждак, тем медленнее он шлифует и тем осторожнее надо работать, чтобы не повредить стекло. Самое важное здесь — следить за тем, чтобы сошлифовывание шло равномерно во всех частях зеркала. Задача теперь не в увеличении углубления, а лишь в сглаживании поверхности. Больше всего надо остерегаться слишком увеличить углубление в середине, иначе зеркало может так крепко присосаться к нижнему стеклу («шлифовальнику»), что вся работа погибнет. Приближение этой опасности легко заметить по тому, что края начинают при шлифовке «заедать», как бы цепляясь. При нормальной шлифовке движение должно происходить легко и плавно, «как по маслу». Исправить дело можно только укорочением штриха, а когда это не помогает — возвращением к более грубой шлифовке более крупным сортом абразива. Очень действенное средство — поменять местами шлифовальник и зеркало: после нескольких минут шлифовки «наоборот» (т. е. шлифовальником сверху по зеркалу) углубление в центре зеркала приобретает меньшую кривизну, и края перестают заедать. Если, однако, это не поможет, то разумнее вернуться к шлифовке более крупнозернистым абразивом.

Полезно время от времени при шлифовке делать десяток, другой совершенно неправильных движений зеркалом по шлифовальнику; это сглаживает мелкие местные неправильности поверхности. Соблюдение правильной длины штриха (т. е. от $1/4$ до $1/3$ радиуса в каждую сторону) тем важнее, чем ближе

окончание шлифовки, так как от него зависит получение правильной сферической формы поверхности.

Совершенство тонкой шлифовки очень важно для дальнейшей работы. Только тщательно отшлифованное зеркало хорошо отполируется. Недошлифованное же стекло сохраняет ямки от более крупных зерен абразива; из-за них не удастся добиться достаточно хорошей полировки. Эти ямки остаются на поверхности в виде массы белых точек, хорошо заметных при соответственном освещении, особенно в лупу. Несмотря на их мелкость, эти ямки упорно держатся; даже и после продолжительной полировки они обычно сохраняются. Поэтому, прежде чем переходить к более тонкому сорту наждака, нужно тщательно осмотреть зеркало (лучше в лупу) и убедиться в том, что матовость, покрывающая его поверхность, вполне однородна, т. е. что нет более крупных ямок. Для последних порций тонкой шлифовки лучше брать не карборунд, а наждак, который оставляет менее глубокие ямки и лучше подготовляет стекло к полировке.

Неоднородности шлифованной поверхности (ямки) лучше всего заметны при рассматривании сухого зеркала на просвет. Поместившись подальше от сильной лампочки, мы легко увидим их как ярко блестящие звездочки на матовом фоне.

По окончании тонкой шлифовки стекло должно стать полупрозрачным, как облитое молоком, и его поверхность должна довольно ярко и равномерно блестеть в косых лучах света.

Читатель без труда заметит, что еще до окончания тонкой шлифовки смоченное зеркало блестит, как отполированное. Этим стоит воспользоваться для испытания при помощи так называемого мокрого способа. Этот способ полезен, так как он дает возможность определить кривизну поверхности (а значит и фокусное расстояние) зеркала с большей точностью, чем на основании измерения стрелки прогиба при помощи линейки. Если хорошо смочить водой поверхность зеркала, поставить его на ребро и поместиться перед ним, держа невдалеке от глаза зажженную свечу или электролампочку, то можно легко найти такое положение, при котором в зеркале будет видно отражение света. При достаточном удалении от зеркала, мы увидим отчетливое опрокинутое изображение пламени свечи или лампочки. Постепенно приближаясь к зеркалу, мы отыщем такое положение, при котором зрачок глаза окажется как раз в точке пересечения лучей, отраженных зеркалом; при этом, разумеется, все лучи войдут в глаз и поэтому зеркало будет выглядеть, как ярко светящийся круг. В этом положении глаз окажется в центре кривизны, т. е. на расстоянии двойного фокусного расстояния от зеркала. Установить это положение можно с точностью, подвигая голову вправо и влево: если световое пятно, отражаемое зеркалом, движется в ту же сторону,

что и глаз, то последний находится ближе к зеркалу, чем центр кривизны; если в обратном, глаз находится позади центра кривизны.

Используя линейку-угольник, можно отметить с достаточной точностью на поверхности стола положение глаза и лампочки, а потом измерить расстояние до зеркала, т. е. радиус кривизны последнего. Можно, впрочем, и навести изображение лампочки на фокус при помощи экрана из матового стекла; годится и просто белый картон. Но, конечно, надо позаботиться о том, чтобы экран был защищен от света лампочки. Измерив расстояние от экрана до зеркала, получим величину радиуса кривизны.

Самое существенное условие при этой и при всех последующих работах — чистота. Надо твердо запомнить, что одно единственное более крупное зернышко или твердая соринка, попавшие между стеклами, могут наделать неизгладимые царапины. Поэтому надо привыкнуть тщательно обмывать зеркало, нижнее стекло (шлифовальник), мыть стол, руки и посуду при каждом переходе от более крупного сорта абразива к более мелкому. Точно так же нужно оберегать все материалы от засорения и стараться не рассыпать в рабочем помещении наждака или карборунда.

3. Полировка и фигуризация

Точные оптические поверхности полируются исключительно на смоляных полировальниках. Смола обладает совершенно незаменимыми для этого свойствами: дело в том, что она при обыкновенной температуре способна медленно изменять свою форму под действием небольшой силы, например нажимания руками. Поэтому, когда слой смолы находится в соприкосновении с трущейся о него поверхностью полируемого стекла, смоляная поверхность постепенно приобретает форму поверхности стекла, но может и меняться, в зависимости от характера трения, например от скорости движения, длины штриха и пр. Кроме того, смоляной полировальник удерживает на своей поверхности тончайший слой полирующего материала (в нашем случае — крокуса), чем обеспечивается самый процесс полировки, в отличие от шлифовки, при котором шлифующие частицы не удерживаются шлифовальником на месте, а катаются между ним и шлифуемой поверхностью, производя, в сущности, выкрашивание стекла, оставляющее после себя «мат», а не делая поверхность блестящей, как при полировке.

Это, однако, не значит, что полированная поверхность абсолютно гладкая; напротив, она, как и шлифованная, также покрыта ямками, произведенными зернами крокуса. Но благодаря тому, что зерна эти очень мелки, они оставляют

неровности, размеры которых составляют лишь малую долю длины световой волны, и потому полированная поверхность не рассеивает света, в отличие от шлифованной, с ее более крупными ямками, делающими поверхность «матовой», т. е. рассеивающей свет.

Полировальник делается из смолы, налитой на выпуклую сторону стеклянного диска, служившего для шлифовки (шлифовальника). Разогрев смолу и прибавив к ней канифоли до нужной твердости (надо стараться не перегреть, пользуясь как можно более легким жаром, и постоянно размешивать), наливают растопленную смолу слоем толщиной 4—5 *мм* на горизонтально положенный и предварительно подогретый шлифовальник. Чтобы удержать смолу, делают бортик из мокрой бумаги. Когда смола загустеет, обрывают бумажный бортик и делают фасетником на ровной поверхности смолы прямые канавки в двух взаимно перпендикулярных направлениях, разбивающие ее на правильные квадратики («фасетки») со стороной около 25 *мм*. Эти канавки очень важны: по ним при полировке распределяется вода с крокусом, а медленно оседающая («текущая») смола лучше приспособляется к форме поверхности зеркала, чем достигается более равномерная и быстрая полировка. Существенно, чтобы фасетки не были расположены симметрично относительно центра полировальника; нужно поэтому предварительно наметить центр на смоле и делать канавки, начиная с середины, так, чтобы центр полировальника пришелся в углу одной из фасок. При помощи фасетника это сделать нетрудно.

Теперь нужно придать поверхности полировальника выпуклую форму, в точности соответствующую вогнутости зеркала. Для этого полировальник размягчают в горячей воде, накладывают сверху зеркало, обильно смазанное крокусом, разведенным водой и двигают его во все стороны с легким нажимом до тех пор, пока мягкая поверхность смолы не примет формы зеркала и не станет соприкасаться с ним каждой своей точкой. Если фасетки при этом испортятся, их надо подправить фасетником. В большинстве случаев в течение изготовления полировальника его приходится несколько раз подогревать в теплой воде. Затем полировальник оставляют охладиться, не снимая с него зеркала (разумеется, позаботившись, чтобы оно не высохло; для этого можно прикрыть все сверху мокрым полотенцем). Поверхность готового полировальника имеет вид, изображенный на рис. 2.

Описанный способ изготовления полировальника имеет ряд недостатков; гораздо лучше упомянутый выше способ, состоящий в следующем. Растопленную смолу наливают на мокрую пергаментную бумагу, положенную на горизонтальное стекло, слоем в 4—5 *мм* толщиной. Пока смола еще мягка, на ней

фасетником выдавливают канавки, разбивающие ее на квадратики. По остывании, снимают пластинку смолы с бумаги и разламывают ее на квадратики, которые раскладывают на слегка нагретом шлифовальнике, предварительно расчерченном карандашом. От тепла квадратики размягчаются, прилипают к стеклу и принимают его выпуклость. Для лучшего прилипания можно поверхность стекла слегка смазать скипидаром. Кажущийся на первый взгляд сложным, этот способ на самом деле проще, а главное — дает гораздо лучшие результаты.

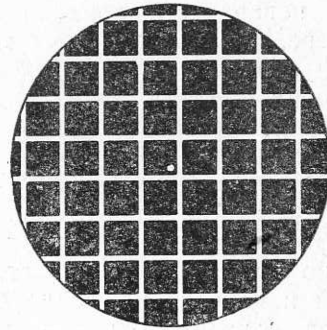


Рис. 2. Вид готового полировальника (сверху) диаметром в 200 *мм*. Канавки разбивают поверхность смолы на квадратики или «фасетки». Положение центра полировальника отмечено белой точкой

Остывший полировальник обычно имеет неправильные края от выдавившейся смолы или от торчащих концов смоляных квадратиков. Все лишнее «стесывают» быстрыми движениями ножа. Если края фасеток окажутся неправильными, то их также выравнивают лезвием безопасной бритвы, стараясь чтобы канавки между ними были одинаковой ширины и глубины. Профиль канавок должен быть клиновидным (кверху шире, книзу у́же).

Здесь пора сказать, что при полировке не только уничтожается мат, оставшийся от шлифовки, но и происходят незначительные изменения формы поверхности, при помощи которых ей придается окончательная точность («фигуризация»). Существует только один вид поверхности, которая может находиться в соприкосновении с другой такой же поверхностью при любом их положении друг относительно друга. Это — сферическая (шаровая) поверхность. Любые иные поверхности могут соприкасаться лишь в строго определенном относительном положении. Вот почему «заедает» при шлифовке шлифовальник, если он или шлифуемое зеркало не имеют сферической формы. Однако получить в результате шлифовки вполне точную сферическую поверхность не всегда удается (да это и не нужно, так как в начале полировки она все равно могла бы снова испортиться). Поэтому начинают полировать стекло далеко не сферической формы, т. е. не могущее в любом положении прилегать к полировальнику. Однако, по мере того как оно сполировывается, его поверхность все более и более приближается к сферической, и полировальник, в силу «текучести» смолы, постепенно приспособляется к ней, пока поверхность не становится уже точной сферой. Об этом в первом приближении можно судить опять-таки,

как и при тонкой шлифовке, по плавности движения, по отсутствию заедания.

Полировка мало отличается от шлифовки. Совершенно так же, как и там, двигаясь вокруг стола, делают штрихи около $1/4$ радиуса, время от времени переходя на неправильные движения, о которых мы говорили при описании шлифовки. Сначала, по только что объясненным причинам, зеркало будет двигаться неравномерно, цепляясь то тут, то там; но как только поверхности зеркала и полировальника станут ближе к сфере, полировка пойдет «как по маслу». Смесь крокуса с водой образует в канавках густую красную пену, и небольшой порции крокуса хватит надолго, если время от времени добавлять по нескольку капель воды. Поверхность полировальника окрашивается крокусом в кирпично-красный цвет, что указывает на хорошее качество смолы.

Не нужно класть слишком много крокуса, так как его избыток может только повредить. Крокус, отмученный, как сказано выше, и лучше растертый с водой, берут чистой кисточкой и наносят на полировальник, сдвигая зеркало вбок. Крокуса должно быть столько, чтобы зеркало окрашивалось им чуть-чуть, оставаясь довольно прозрачным.

Громадное значение имеет твердость смолы. Если смола слишком тверда или слишком мягка, то почти невозможно получить хорошие результаты. На производстве приготовляют целый ряд сортов полировочной смолы различной твердости, применяя тот или другой из них, в зависимости от обстоятельств.

Большое значение имеет температура, изменяющая твердость смолы, притом температура не только помещения, но и зависящая от трения стекла о смолу, которое различно при различном количестве крокуса, при различной скорости движения и пр. Любителю, конечно, приходится в значительной степени гадать и пробовать. Особенно неприятно, если смола слишком мягка (частая ошибка у начинающих). Слишком мягкая смола никогда не даст сферической поверхности, но придает центральным частям зеркала бо́льшую кривизну, чем периферическим,— недостаток, знакомый уже нам по шлифовке слишком длинными штрихами. Для ориентировки можно посоветовать до изготовления полировальника испробовать твердость смолы следующим образом: большую каплю смолы остудить в воде комнатной температуры и нажать не нее ногтем с силой, с которой вдавливается кнопка в доску. За 10—15 сек. на смоле должно отпечататься небольшое углубление. Если оно образуется слишком легко или, напротив, его почти не останется, смола не годится. К слишком мягкой смоле надо добавить канифоли, к слишком твердой — смолы. Разумеется, подобное испытание чрезвычайно грубо, но оно все же даст первое представление о твердости смолы. Нужно, однако, быть всегда готовым к тому, что придется, как это ни неприятно, переделать полировальник, если в ходе работы выяснится, что твердость смолы не подходит.

Через 20—30 мин. работы поверхность зеркала уже заблестит. Однако до конца полировки еще далеко, в лучшем случае часов десять. Если форма поверхности очень далека от сферы, то в течение долгого времени движение не станет плавным. Может оказаться поэтому более выгодным снять с полировальника смолу (это делается на холоду просто ножом, которым соскребают или сбивают смолу, колющуюся от быстрых движений) и вернуться к тонкой шлифовке, при которой обращают внимание на длину штриха. Между прочим, важно, чтобы при тонкой шлифовке не было избытка абразива; последнего, самого мелкого, минутника кладут чуть-чуть, иначе избыток его может повредить форме поверхности. Большое значение имеют также и неправильные движения, о которых мы говорили уже неоднократно. Их значение состоит в том, чтобы ликвидировать местные неправильности поверхности, получающиеся вследствие того, что одни и те же места шлифовальника (или полировальника) и зеркала трутся одно о другое. В результате поверхность получается не плавной, а разбивается на «зоны» (чаще всего кольцеобразные), различающиеся своей формой. Эти зоны иногда бывают необычайно резко выражены.

Эти зоны легко заметить в конце тонкой шлифовки, наблюдая поверхность зеркала при косом освещении. Делается это так. Держа зеркало горизонтально (конечно, лицевой стороной кверху), располагаются перед окном или удаленной лампочкой так, чтобы свет падал на него наклонно (т. е. под большим углом к перпендикуляру). Подымая зеркало в горизонтальном положении (т. е. приближая его поверхность к прямой, соединяющей глаз с источником света), мы найдем положение, когда поверхность заблестит, отражая лучи. Отражение будет тем ярче, чем выше поднято зеркало (т. е. чем угол падения лучей ближе к 90°), и, обратно, тем слабее, чем зеркало ниже (т. е. чем меньше угол падения лучей). Рассматривая поверхность зеркала, мы по всей вероятности, заметим, что яркость отражения не одинакова во всех ее частях; это как раз зависит от неравномерности шлифовки. Так, середина зеркала в большинстве случаев блестит сильнее, чем периферия; но бывает и обратное положение, именно, зеркало перестает блестеть при опускании сначала в середине. Бывает и так, что на поверхности зеркала обнаруживаются концентрические кольца, различающиеся по силе отражения света. Различия в способности отражать свет указывают на неоднородность шлифовки, а вместе с тем и на неправильность поверхности; а последнее особенно важно. При тонкой шлифовке нужно поэтому стараться добиться того, чтобы поверхность зеркала не


БИБЛИОТЕКА
№ 466

обнаруживала слишком заметных неоднородностей в способности отражать наклонные лучи, т. е. темнела как можно равномернее при уменьшении угла падения (т. е. при опускании зеркала по отношению к источнику света). Особенно вредной неправильностью является так называемый завал, т. е. развернутый край или уменьшение кривизны наружной зоны. Завал — обычная беда новичков — происходит от многих причин: слишком длинный штрих, резкие движения при шлифовке, избыток абразива и т. п. Вред от него особенно велик потому, что, даже занимая узкий наружный ободок, он портит значительную часть поверхности зеркала (так как площади колец данной ширины пропорциональны их радиусам). Надо поэтому всячески стараться избегать завала.

Сначала можно особенно не думать о форме поверхности зеркала. Если шлифовка была удачна и полировка идет нормально, зеркало само постепенно станет сферическим. Понемногу блеск будет все усиливаться, а матовых белых точек, представляющих крошечные ямки, оставленные шлифовкой, будет становиться все меньше и меньше. В конце концов наступит момент, когда эти точки станут совсем редкими. Чтобы убедиться в этом, нужно рассмотреть начисто вытертую чистой тряпочной поверхность зеркала при свете яркой лампы; точки лучше всего заметны при косом освещении, по соседству с отражением самого волоска электрической лампочки.

Если зеркало моют, то ни в коем случае нельзя делать этого слишком холодной или слишком теплой водой: колебания температуры, изменяя форму зеркала и твердость смолы, будут очень вредно отражаться на полировке. Надо стараться, чтобы температура зеркала, полировальника и помещения менялась как можно меньше.

При перерыве работы (конечно, если он не превышает суток) зеркало надо оставлять на полировальнике, позаботившись, чтобы оно не высохло (иначе прилипнет к смоле!). Проще всего положить его вместе с полировальником в таз, на дно которого налить воды, и все плотно прикрыть сверху. В течение полировки полезно делать недолгие перерывы, оставляя зеркало на полировальнике. При этом смола лучше прильнет к стеклу.

Теперь, когда поверхность зеркала почти отполирована, наступает самая трудная, но зато и наиболее интересная часть всей работы: придание поверхности зеркала точной формы или «фигуризация». Здесь необходим уже непрерывный оптический контроль или так называемое рабочее испытание.

Сферическое зеркало должно давать совершенно правильное, свободное от аберраций, изображение светящейся точки, находящейся в центре его кривизны. Из этого ясно, что для испытания зеркала нужно поместить в центр его кривизны светящуюся точку и исследовать изображение ее, образованное зеркалом.

Светящуюся точку («искусственную звезду») проще всего получить, заслонив яркий источник света непрозрачным экраном с очень маленьким отверстием. Лучше всего взять кусочек станиоля или (что хуже) черной бумаги, и проколоть отверстие кончиком очень тонкой и острой иголки. Источник света должен быть как можно ярче; впрочем, если нет электрической лампочки, можно обойтись и керосиновой лампой с плоским фитилем. Лампочку надо закрыть со всех сторон, чтобы не проходил свет (например жестяным колпаком), оставив маленькое окошечко, в которое будет вставляться «звезда» (кусочек станиоля с проколом). Если электрическая лампочка не матовая, то придется подложить кусочек матового стекла. И в том и в другом случае это, к сожалению, сильно ослабит яркость точки. Поэтому в более усовершенствованных приспособлениях (приборах) для испытания зеркал между лампочкой и «светящейся точкой» (т. е. отверстием) ставят линзу, которая собирает лучи, заполняя светом отверстие «точки»; при этом освещение получается гораздо более ярким и, главное, на все части зеркала попадает одинаковое количество света.

Приготовив все, как сказано, нужно еще запастись сильной лупой или окуляром (×20 или 30), дающими увеличение в 20—30 раз. Теперь мы можем приступить к предварительному испытанию зеркала. Для этого его надо поставить на ребро на расстоянии двух фокусных расстояний (в случае нашего 150-миллиметрового зеркала это будет 2,5—3,0 *м*) от лампы, перпендикулярно к падающему от нее свету. Чтобы зеркало держалось и могло наклоняться во все стороны, лучше устроить какую-нибудь простую подставку.

Изображение лампы, образованное зеркалом, окажется тогда где-нибудь по соседству с самой лампой; его нужно поймать глазом, а лучше на матовое стекло, как при наводке на фокус фотоаппарата или на белый экран. Передвигая лампу, надо добиться того, чтобы изображение оказалось совсем близко к ней (удебнее — слева, если глядеть на зеркало) и на одном с ней расстоянии от зеркала. Легко понять, что тогда условия будут очень близки к тем, при которых правильное сферическое зеркало должно давать вполне совершенное изображение, без аберраций. Впрочем, в нашем случае особенно заботиться о расстоянии нечего; гораздо важнее, чтобы изображение было как можно ближе к прямой, соединяющей центр зеркала и светящуюся точку; иначе появятся аберрации, не зависящие от формы поверхности, а вызывающиеся различным наклоном лучей к оптической оси зеркала.

В большинстве случаев бывает, что зеркало вначале далеко от идеальной сферы и изображение, образованное им, имеет

различные недостатки, по большей части хорошо заметные. Отклонения поверхности зеркала от желаемой («ошибки поверхности») заключаются в неодинаковости различных частей: либо середина слишком углублена, либо краевые части загнуты чересчур внутрь или, напротив, развернуты. Эти неправильности могут захватывать большие области на зеркале, а могут ограничиваться незначительными участками, почти всегда кольцевой формы («зональные ошибки»).

Будем рассматривать изображение лампочки (пока ничем не закрытой) в лупу или в окуляр. Если, придвигаясь или отодвигаясь, можно найти такое положение, при котором хорошо видны подробности («установить» или «навести на фокус»), это значит, что зеркало неплохо и довести его до полного совершенства не составит особого труда. Но главное значение для оценки качеств зеркала имеет вид изображения при неточной установке на фокус («внефокальные изображения»). Только в этом случае, если зеркало имеет точно сферическую поверхность, изображение будет выглядеть одинаково при сдвигании окуляра в обе стороны от точной установки на фокус, т. е. по направлению к зеркалу и от него. Если же вид изображения при том и другом положении различен, то зеркало не имеет сферической поверхности, т. е. различные его части обладают различной кривизной. Здесь надо различать два основных случая: 1) средние части зеркала имеют меньшую кривизну, чем наружные, и 2) кривизна наружных частей меньше, чем внутренних. В первом случае очертания (контур) изображения остаются резкими при придвигании глаза с окуляром к зеркалу, а при удалении изображение расплывается кнаружи в «сияние» с более яркой средней частью, нередко сохраняющей подробности (например детали витков накаленной спирали электрической лампочки). Во втором случае будет происходить как раз обратное, т. е. изображение по краям будет расплываться при придвигании окуляра, а при отодвигании резкие наружные контуры будут сохраняться.

Если разница в кривизне средних и наружных частей зеркала невелика, то различие в виде изображения позади и впереди фокуса будет мало заметно и понадобятся уже более тонкие приемы, чтобы обнаружить его. О них мы сейчас скажем.

Предварительное исправление дефекта очень просто; если средние части зеркала имеют меньшую кривизну, чем наружные, их надо углубить, продолжая полировку более длинными штрихами. При обратном недостатке надо укоротить штрих. Если твердость смолы выбрана удачно, то обычно в течение 2—3 час. удается привести зеркало в такое состояние, что оно начинает давать очень хорошие изображения и аберрация, сказывающаяся в различии вида изображения впереди и позади фокуса, становится при таком испытании незаметной. Тогда нужно применить более тонкий способ испытания. Перед лампой ставят упо-

мянутую выше заслонку с отверстием («искусственная звезда») и изображение последнего исследуют при помощи лупы или окуляра. В этом случае малейшее отклонение формы зеркала от сферической скажется гораздо резче. Если при придвигании окуляра к зеркалу маленькое изображение «звезды» будет расширяться в резко очерченный кружок (состоящий обычно из концентрических колец вследствие дифракции) с более темной серединой, а при отодвигании середина расширяющегося кружка будет ярче краев, которые будут размыты, то средние части зеркала имеют меньшую кривизну, чем наружные. При обратной картине наружные части зеркала имеют меньшую кривизну. Если же различия в виде изображения впереди и позади фокуса окажутся мало заметными, то поверхность зеркала очень близка к сфере и пора перейти к окончательной проверке при помощи «метода Фуко» или, иначе «теневого испытания».

Способ Фуко дает возможность воочию видеть мельчайшие ошибки отдельных частей поверхности зеркала и безошибочно указать способ их уничтожения, а также постоянно наблюдать за ходом полировки. Устройство, служившее для только что описанного испытания, вполне годится и для теневого испытания. Нужно лишь добавить к нашему «оборудованию» «нож Фуко», которым попросту будет служить лезвие для безопасной бритвы, укрепленное стоймя на устойчивой подставочке, могущей легко передвигаться по столу. Нож Фуко служит для «разрезания» пучка (конуса) лучей, отраженных зеркалом, т. е. для затенения зеркала; по характеру «теней», замечаемых при этом на зеркале, можно точно судить о форме его поверхности.

Поместившись, как прежде, перед изображением лампочки, нужно поставить приделанное к подставке лезвие так, чтобы его край был около самого изображения. Имея лампочку справа от себя, нож надо пристроить так, чтобы он был слева от изображения; тогда будет удобно смотреть правым глазом. Подставку для лезвия можно сделать из гладко оструганного деревянного брусочка с наклеенной на него пробкой, в разрез которой вставляется вертикально лезвие. Поставив этот брусочек на другой, большего размера, можно будет удобно передвигать лезвие во все стороны. Приставив к лампе заслонку с отверстием (желательно, чтобы его поперечник не превосходил 0,1 *мм*) и поймав глазом изображение «звезды», надо осторожно подвести край лезвия совсем близко к нему. Тогда, не теряя блестящей точки из виду, следует приблизить глаз к зеркалу; при этом изображение начнет, конечно, расплываться, пока не заполнит всего зеркала, которое покажется нам ярко светящимся кругом. Это будет значить, что наш глаз уже совсем близко к тому месту, где находится изображение светящегося отверстия (т. е. пересечение лучей, отраженных от зеркала,— вершина конуса лучей), и все лучи, отраженные зеркалом, вошли в зрачок. Легко понять,

что загораживая часть пучка лучей лезвием, мы увидим часть зеркала затемненной; на нем появятся «тени Фуко». Это будет именно та часть зеркала, лучи от которой загорожены ножом и не попали в глаз.

Рис. 3 объясняет, как по этим теням «читать» форму поверхности зеркала. Картина теней будет различна в зависимости от положения ножа и формы поверхности зеркала. Если зеркало обладает точно сферической поверхностью, т. е. если все отраженные лучи от светящейся точки будут сходиться в центре кривизны зеркала, то, как легко понять, нож, вдвигаемый в конус сходящихся или расходящихся лучей, будет постепенно гасить один луч за другим, вызывая образование тени с совершенно ровной прямолинейной границей. Эта тень будет двигаться в ту же сторону, что и нож, если последний находится между изображением (центром кривизны) и зеркалом (рис. 3, *а*); оно будет двигаться навстречу ножу, если тот находится по другую сторону изображения (кнаружи), т. е. после пересечения лучей. Установив нож точно против изображения, мы сможем погасить все зеркало сразу, едва-едва подвинув нож в сторону, как бы коснувшись изображения; столь узок в этом месте пучок лучей (рис. 3, *б*).

Всякая другая поверхность даст иную картину теней, и где бы мы ни помещали нож, вся поверхность зеркала не погаснет сразу, потому, что отраженные им лучи не сходятся в одной точке.

Пусть у зеркала углублена середина, т. е. кривизна там больше, и следовательно, отраженные от нее лучи пересекаются ближе к зеркалу, чем лучи, идущие от краевых частей. Тогда, как показано на рис. 3, *в*, нож, затенив левый край зеркала, загородит еще лучи, отраженные от правой половины центрального углубления, вызвав там тень серповидной формы. Иначе говоря, мы увидим углубление в зеркале, как бы освещенном косыми лучами, падающими в направлении на лезвие ножа (в данном случае справа налево).

Если зеркало имеет в середине не углубление, а меньшую кривизну, чем на периферии, то картина будет обратная: тень будет появляться сначала слева от центра, т. е. мы увидим в середине зеркала как бы холмик, освещенный косыми лучами, идущими опять-таки справа налево, т. е. в направлении на лезвие ножа (рис. 3, *г*).

Точно также мы легко обнаружим и кольцевой валик, канавку и всякую иную неоднородность поверхности. После некоторого упражнения мы легко научимся «читать» эту теневую картину.

Для успеха испытания надо иметь устойчивую установку (при малейшей тряске все будет мигать, и работа станет почти невозможной). В комнате должно быть, по возможности, темно

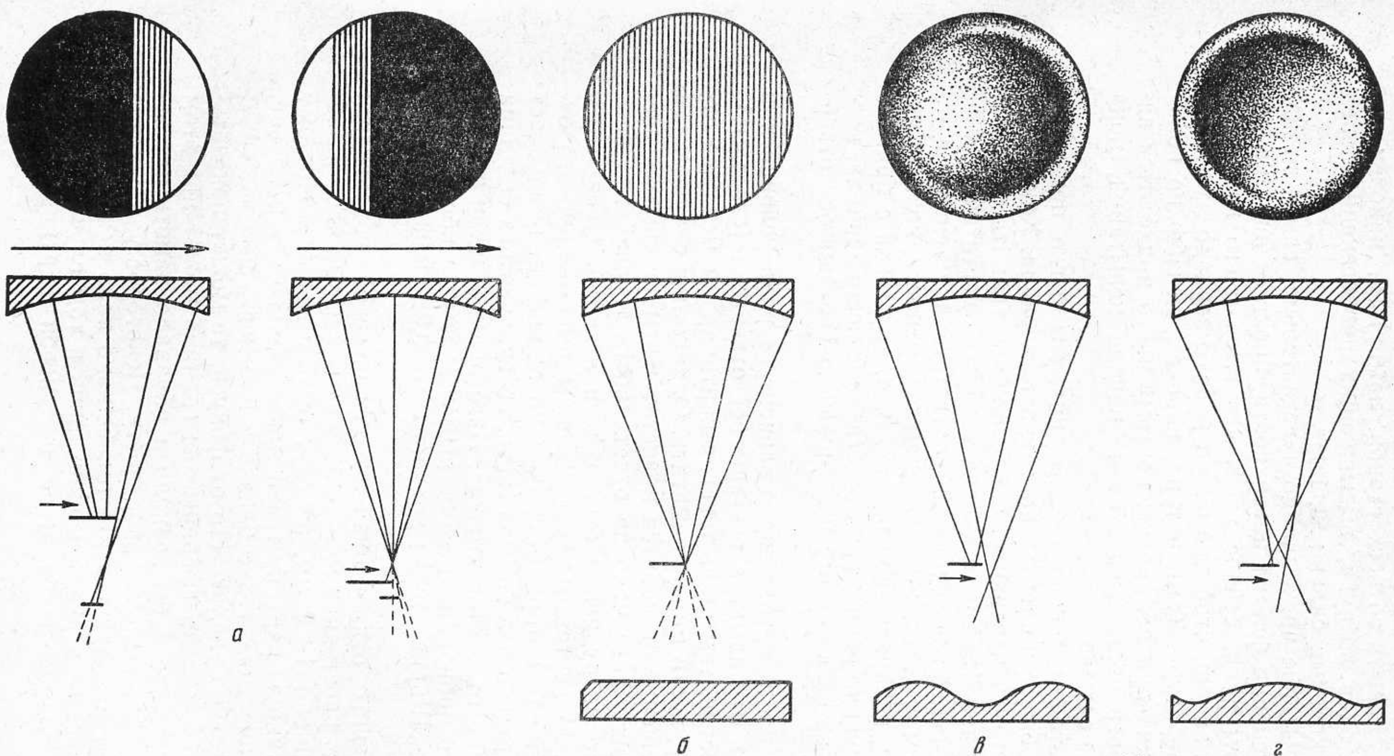


Рис. 3. Вид теней Фуко, даваемых поверхностями различного рода

а — правильная сфера: все лучи, исходящие из центра кривизны, сходятся там же, образуя изображение светящейся точки; слева нож, двигаясь слева направо, пересекает конус лучей впереди изображения; на зеркало в том же направлении надвигается тень с прямым краем; справа — нож позади изображения, такая же тень надвигается навстречу его движению; *б* — нож точно против точки пересечения лучей, у вершины конуса лучей (изображение точки); все зеркало гаснет равномерно и кажется совершенно плоским (схематический профиль внизу); *в* — средние части зеркала углублены в сравнении с краями, отчего центральные лучи пересекаются ближе к зеркалу, чем краевые, при пересечении конуса лучей ножом получаются характерные тени, которые возникли бы от освещения поверхности, показанной в самом низу, косыми лучами, идущими справа; *г* — вид теней, наблюдаемых в случае, если зеркало имеет меньшую кривизну в середине, чем по краям; тени ясно показывают, что зеркало имеет форму, изображенную в виде схематического профиля внизу рисунка

(надо хорошо закрыть со всех сторон лампу) и, наконец, не должно быть токов воздуха, вызывающих пробегающие перед глазами тени, которые сильно мешают.

Теневое испытание чрезвычайно чувствительно: самые незначительные изменения формы поверхности, происходящие например от теплоты руки, сейчас же замечаются с его помощью. Поэтому очень важно, чтобы во время работы зеркало имело постоянную температуру. Температура, впрочем, неизбежно повышается от трения при полировке; поэтому часто приходится замечать, что поверхность меняется в начале испытаний, пока зеркало еще не остыло.

Овладев методом теневого испытания, мы легко применим его к тому, чтобы «выправить» поверхность зеркала. Каковы бы ни были недостатки поверхности, их можно устранить правильным полированием (для чего иногда требуется достаточное терпение). Меняя способ полировки в соответствии с теневой картиной, мы будем следить за изменением поверхности, пока не получим картины, изображенной на рис. 3, *а*, т. е. тени с прямым краем, и совершенно равномерного погасания всего зеркала, когда нож прикасается к самому изображению светящегося отверстия.

Чувствительность метода Фуко зависит от ряда условий и в первую очередь от диаметра светящегося отверстия («звезды»). Чем у́же отверстие, тем резче теневая картина, тем меньшие отклонения поверхности можно заметить. Однако при очень малом отверстии освещение становится недостаточным, а яркость света — другое важнейшее условие отчетливости теневой картины. Выход из этого затруднения был найден известным советским оптиком Д. Д. Максутовым, применившим вместо круглого отверстия узкую щель, которая при одинаковой ширине пропускает примерно во столько раз больше света, во сколько раз ее длина больше диаметра отверстия «точки». Изготовление щели нетрудно; лучше всего процарапать ее острым лезвием на посеребренном стеклышке. Ширина щели должна быть 0,02—0,03 *мм*; длина — около 3 *мм*.

При небольших отклонениях от сферической поверхности аберрации, т. е. расстояния между фокусами разных частей зеркала не превышают 1—2 *мм*, а могут быть и меньше. Поэтому разпознать истинную картину теней можно только в том случае, если нож помещен достаточно близко к плоскости изображения; если же значительно удалить его от фокуса, то может показаться, что зеркало идеально сферическое: граница может при этом оказаться прямой, хотя бы зеркало и обладало заметными отклонениями от сферической поверхности. Некоторое упражнение быстро поможет разобраться в этом. Однако надо ясно понять, что сделать хорошее зеркало можно лишь в том случае, когда работающий научился разбираться в теневой картине; более

того, «понять теневую картину — значит сделать хорошее зеркало», как говорил основатель телескопостроения в нашей стране А. А. Чикин.

Основной способ исправления поверхности — подобрать подходящую длину штриха. Нужно твердо помнить, что длинный штрих углубляет среднюю часть заркала (увеличивает ее кривизну), короткий же, напротив,— его краевые части. Но это правило приложимо лишь к полировальнику подходящей твердости; на слишком мягкой смоле никакими штрихами не добиться правильной поверхности. Кроме того, слишком мягкая смола, а также и слишком длинный штрих часто вызывают «завал», т. е. уменьшают кривизну поверхности на краю зеркала. Как мы отмечаем, завал — очень вредный недостаток, и его надо всячески остерегаться. Одно из важнейших условий для избежания завала состоит в том, чтобы полировальник и зеркало имели в точности одинаковые диаметры.

Как бы ни была неправильна форма поверхности, в большинстве случаев ее удается выправить. Но иногда попадаются «упрямые» зеркала, не поддающиеся никаким усилиям. В таких случаях иногда, как это ни досадно, приходится возвращаться к тонкой шлифовке, что, разумеется, вызывает большую потерю времени. Можно и продолжать полировку «до победного конца», применив так называемую резку полировальника или осторожное соскабливание тонкого слоя смолы с тех мест, которые приходятся против углубления зеркала, например с середины, если средняя часть зеркала слишком углублена. Скоблить или надрезать лучше всего лезвием для безопасной бритвы; разумеется, после этого полировальник должен быть тщательно обмыт от соскобленной смолы. Этот прием действует очень быстро; поэтому надо чаще контролировать поверхность, иначе легко на месте углубления сделать бугор, и обратно.

Разумеется, рассчитывать при этом сразу на получение правильной поверхности нельзя: обычно возникает много мелких неровностей. Но они не страшны, если общая форма поверхности улучшилась; через 1—2 часа полировки они обычно исчезают, если полировальнику опять придана нормальная поверхность путем размягчения в горячей воде и накладывания зеркала.

Последнее комнатное испытание мы произведем опять-таки по искусственной звезде. Нужно только, чтобы она была как можно меньше, по возможности, не более 0,02—0,03 *мм*. Проще всего воспользоваться одним из мельчайших отверстий, которые во множестве имеются всегда в станиоле; нарочно же сделать дырочку такого размера трудно. Источник света должен быть как можно ярче; годится волосок электрической лампочки, но при этом нужно помнить то, что говорилось выше об освещении отверстия, волосок может не «заполнить» светом всего отверстия, если лучи предварительно не собраны линзой. При отсут-

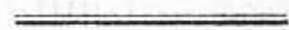
ствии линзы придется пожертвовать яркостью, поставив между лампочкой и отверстием матовое стекло.

Рассматривая такую маленькую искусственную звезду в сильный окуляр (20-30-кратный), мы должны увидеть совершенно правильный крошечный кружочек без всякого сияния вокруг, но обведенный несколькими бледными кольцами. При малейшем сдвиге с точной установки на фокус изображение будет расширяться в кружок, состоящий из концентрических колец; вид этого кружка должен быть совершенно одинаков при обоих положениях окуляра (впереди и позади точной установки). Конечно, такое исследование трудно произвести, просто держа окуляр в руке; нужно будет устроить для него подвижную подставочку, позволяющую производить все нужные передвижения (в стороны, вверх — вниз и вперёд — назад).

Если удалось достичь такого результата, можно считать работу законченной: зеркало будет работать очень хорошо.

Часто бывает, что изображение искусственной звезды расплывается по краям при придвигании окуляра, что указывает, как мы знаем, на меньшую кривизну (большее фокусное расстояние) краевых частей зеркала. В этом обычно бывает виноват завал, оставшийся незамеченным раньше. Если закрывание узкого края (не более 5 *мм*) уничтожает дефект, то проще всего при устройстве телескопа иметь это в виду, приладив к зеркалу диафрагму, закрывающую заваленный край; это хотя и вызовет уменьшение действующего отверстия и, следовательно, кроме некоторой потери света, еще и уменьшение разрешающей силы, но зато резко улучшит качество изображения.

Описанный выше ход работы тщательно и многократно проверен нами с начала до конца; поэтому мы уверены, что читатель, даже и не имея иного пособия, кроме этой инструкции, сможет при достаточном желании и настойчивости изготовить отличное небольшое зеркало для телескопа.



ИЗГОТОВЛЕНИЕ ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ПЛОСКОГО ЗЕРКАЛЬЦА

В рефлекторе системы Ньютона (см. рис. 1) конус лучей, отраженных главным зеркалом, выводится в боковое отверстие трубы для рассматривания или фотографирования изображения. Для этого служит вспомогательное маленькое плоское зеркальце, поставленное наклонно к оптической оси телескопа. Приме-

няется также и прямоугольная призма полного внутреннего отражения. Однако изготовить ее несравненно труднее, чем плоское зеркальце, имеющее всего одну рабочую поверхность и не требующее, к тому же, для своего изготовления особенно хорошего стекла. Кроме того, призма, по самому существу дела, менее выгодна, так как может внести в изображение недостатки, от которых свободны зеркала.

Нужно иметь в виду, что качество плоского зеркальца нисколько не менее важно, чем качество главного вогнутого зеркала телескопа. В самом деле, все лучи, собранные главным зеркалом, должны отразиться плоским, и, если его поверхность имеет какую-либо кривизну или неправильности, результат получится такой же, как если бы само главное зеркало обладало соответствующим дефектом.

Найти готовый кусок точно плоского зеркального стекла практически невозможно. Поэтому придется изготавливать плоское зеркальце своими силами. Любитель, который уже справился с изготовлением главного зеркала, может и здесь рассчитывать на полный успех.

Кроме точности поверхности плоского зеркальца, имеют значение его размеры и форма (очертания краев). Размеры должны быть так рассчитаны, чтобы наилучшим образом соответствовать главному зеркалу.

Техника изготовления плоского зеркала в одном отношении резко отличается от техники изготовления вогнутого сферического зеркала. При изготовлении вогнутого зеркала нам приходилось заботиться лишь о том, чтобы оно было сферическим, т. е. во всех своих частях имело одинаковую кривизну, самая же величина кривизны нас интересовала мало; вспомним, что, определяя стрелку кривизны, мы могли удовлетвориться точностью до 0,05 *мм*.

Другое дело — плоскость: от нее требуется, чтобы она вообще не имела кривизны, вернее, допустимая для нее кривизна не должна превышать допуска, который не может превосходить 0,00007 *мм*. Другими словами, при обработке плоской поверхности требуется не только избежать местных ошибок, превосходящих 0,00007 *мм*, но и общая форма поверхности должна быть выдержана с той же точностью, превосходящей почти в 1000 раз ту, которую мы требовали от поверхности вогнутого зеркала. К этому надо еще добавить, что плоская поверхность гораздо менее устойчива в ходе обработки, чем вогнутая сферическая; это, впрочем, явствует уже из сказанного. Однако, несмотря на эти трудности, при внимательности и терпении изготовить небольшое зеркало с точно плоской поверхностью — дело не только вполне возможное, но даже и не требующее особых усилий.

1. *Форма и размеры плоского зеркальца.* Наилучшие результаты получаются тогда, когда плоское зеркальце, стоящее на

пути лучей под углом в 45° к оптической оси, проектируется на главное зеркало кружком. Для этого ему надо придать эллиптические очертания с отношением осей эллипса, равным $1:\sqrt{2}$, и соответственно скосить его края. Такое зеркальце имеет форму ломтика, отрезанного от цилиндра под углом в 45°. Однако изготовление такого зеркальца для начинающего затруднительно. Поэтому на первых порах придется удовлетвориться круглым зеркальцем, изготовить которое несравненно проще. Но, поставленное под углом в 45°, оно, конечно, будет проектироваться на главное зеркало в виде эллипса и, кроме того, будет добавочно

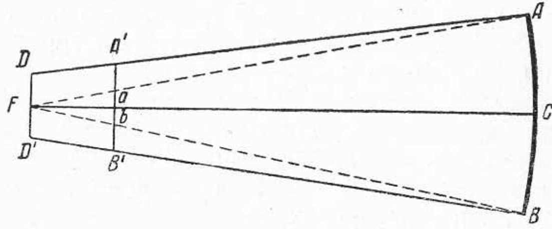


Рис. 4. Определение размеров плоского малого зеркальца для рефлектора системы Ньютона

AB — главное вогнутое зеркало; главный фокус его в точке F на оптической оси CF, DD' — поле зрения в фокальной плоскости. Малая ось плоского зеркальца должна быть равна $A'B'$, а не ab, так как поле зрения не точка F, а кружок с поперечником DD'

заслонять часть лучей. Впрочем, это дополнительное экранирование столь мало, что о нем можно не беспокоиться.

Очень часто при расчете размеров плоского зеркальца делают следующую ошибку (рис. 4): принимают во внимание только конус лучей, имеющий своим основанием главное зеркало, а вершиной — точку главного фокуса на оптической оси, т. е. делают плоское зеркальце столь малым, что оно может целиком перехватить лучи только от одной точки, лежащей как раз на оптической оси трубы. Иными словами, главное зеркало при этом используется целиком лишь при рассматривании одной звезды, приведенной точно в центр поля зрения. Все остальное поле зрения получает лишь часть лучей и тем меньшую, чем дальше звезда находится от центра поля зрения. Это вредное («виньетирующее») действие слишком малого плоского зеркальца не только приводит к потере света на краю поля, но, что еще хуже, сильно снижает вдали от центра поля зрения разрешающую силу, т. е. способность инструмента показывать детали наблюдаемого светила, например мелкие подробности на Луне и планетах, разделение тесных пар звезд и пр. Короче говоря, лучше сделать плоское зеркальце слишком большим, чем слишком малым.

Как видно из рис. 4, зеркальце должно быть такой величины, чтобы перехватить лучи, образующие усеченный конус, основанием которого является главное зеркало, а усеченная вершина составляет максимальное поле зрения. Таким образом, мы должны сначала задаться определенным поперечником поля зрения, а потом по нему рассчитать для данного телескопа минимальный размер плоского зеркальца. Не входя здесь в подробности, дадим приближенную формулу для расчета (желающий выведет ее сам, пользуясь рис. 4):

$$b = d + \frac{k\,(D-d)}{F},$$

где b — длина малой оси эллиптического зеркальца, D — диаметр главного вогнутого зеркала, F — фокусное расстояние главного зеркала, d — поперечник (линейный) поля зрения, k — постоянная величина, равная сумме расстояния от центра зеркальца до главного фокуса, ширины зазора между главным зеркалом и трубой [1], толщины стенки трубы и, наконец, расстояния, на которое желательно вывести вбок изображение из трубы наружу. Если исходить не из линейного, а углового поперечника поля зрения, то величина d будет, очевидно, равна поперечнику поля зрения в градусах, умноженному на $\frac{F}{57{,}3}$. Наконец, если мы имеем дело не с эллиптическим, а с круглым зеркальцем, то для расчета его диаметра (очевидно, равного большой оси эллиптического зеркальца) надо величину b умножить на $\sqrt{2}=1{,}41$.

Произведем расчет круглого зеркальца для телескопа с главным зеркалом $D=150$ *мм*, $F=1500$ *мм*, $d=1°$ (два угловых поперечника Солнца или Луны), $k=75+13+10+20=118$ *мм*:

$$b = \frac{1500}{57{,}3} + \frac{118\left(150 - \frac{1500}{57{,}3}\right)}{1500} \approx 35 \text{ мм}.$$

Круглое зеркальце должно, следовательно, иметь диаметр в $35\times1{,}41\approx50$ *мм*.

Заметим в заключение, что с достаточной точностью определить размеры диагонального зеркальца можно и графически,

[1] Эта величина, конечно, определяется желаемым полем зрения; если принять его в 1°, то диаметр трубы для нашего зеркала должен превосходить диаметр главного зеркала не меньше чем на 26 *мм* $\left(\frac{1500}{57{,}3}\right)$, т. е. зазор должен составить 13 *мм*.

тщательно вычертив схему хода лучей в уменьшенном масштабе (1 : 3 или 1 : 4).

2. *Материал.* Если удастся достать хорошее зеркальное стекло (при малых размерах диагонального зеркальца не надо гнаться за большой толщиной, но оно и не должно быть тоньше 5 *мм*, так как иначе будет гнуться под действием собственного веса и при обработке), то задача сильно упростится: нужную нам точно плоскую поверхность мы сможем получить при сравнительно небольшой затрате времени, начав непосредственно с полировки (см. ниже, стр. 32).

В том случае, если стекло при пробе при помощи интерференционных полос (см. стр. 32) не обнаружит отклонений от плоскости, превышающих 2—3 полосы, мы сможем обойтись без шлифовки. В противном случае (с которым, к сожалению, приходится встречаться чаще), придется для достижения плоской поверхности сначала отшлифовать стекло, а потом полировать его.

Большое значение имеет еще и однородность стекла: плохо отожженное или плохо вымешанное при варке стекло может неправильно покоробиться при обработке или искривиться при колебаниях температуры.

Изготовить стеклянный кружок нетрудно. Его можно просто вышлифовать. Для этого нужно, обломав стекло щипцами для придания ему приблизительно круглых очертаний, вклеить его разогретой смолой (лучше сплав из равных частей канифоли и пчелиного воска) в распиленную поперек цилиндрическую деревяшку соответственного диаметра (можно подобрать подходящую скалку) и сошлифовать выдающееся со всех сторон лишнее стекло при помощи корборунда на куске толстого стекла. Лучше, однако, вырезать кружки при помощи железной или медной трубки. Трубка должна иметь внутренний диаметр несколько больший, чем необходимый диаметр кружка, а толщину стенок — около 1 *мм*. Она должна быть снабжена по краю косыми насечками в 3—4 *мм* глубиной, которые легко сделать напильником. Такой трубкой можно сверлить стекло при помощи кашицы из карборунда или наждака средней крупности. Конечно, лучше всего воспользоваться вертикальным сверлильным станком, но можно вместо него сделать деревянный станочек в виде буквы П с перекладиной. Пропустив трубку сквозь отверстия в верхушке и перекладине, можно вращать ее при помощи «лучка» (бечевка и гибкий прут). Вырезка кружка из зеркального стекла занимает от 5 до 30 мин., смотря по толщине стекла и в зависимости от оборудования. Чтобы на краю кружка не получилось выколок, на обе поверхности заготовки следует наклеить (сплавом канифоли и воска) обыкновенное оконное стекло. Для изготовления зеркальца нам потребуется три стеклянных кружка.

3. *Шлифовка.* Наилучший способ работы таков. Три одинаковых стеклянных кружка (назовем их № 1, 2 и 3) попарно пришлифовываются один к другому таким образом: № 1 шлифуется сверху № 2, затем № 2 шлифуется сверху № 3, и наконец, № 3 шлифуется сверху № 1. По окончании этого цикла (в каждой комбинации минут по пять) все начинается снова, и так до окончания тонкой шлифовки. Читатель, уже практически знакомый с шлифовкой вогнутого зеркала, легко поймет, что при такой процедуре все три стекла должны стать плоскими (конечно, если шлифовка каждой пары продолжается одинаково долго), потому что приобретаемая поверхностью каждого кружка вогнутость (когда он наверху) ликвидируется после того, как он будет шлифоваться такое же время сверху другим кружком.

Сама шлифовка производится так же, как и при изготовлении вогнутого зеркала, т. е. прямыми штрихами примерно в $^1/_4$—$^1/_3$ диаметра; разумеется, нет никакой нужды применять крупный наждак, а можно начинать сразу с пятиминутного. Слишком маленькие кружки очень трудно шлифовать, обходя вокруг стола. Несравненно удобнее работать сидя, пристроив какое-либо приспособление для поворачивания нижнего кружка. Годится, например, круглая дощечка, удерживаемая от ерзания по столу тремя планками. Поворачивая ее вместе с лежащим на ней кружком на небольшой угол левой рукой, правой рукой двигают верхний кружок, поворачивая его в то же время в противоположном направлении пальцами.

Каждая «порция» шлифовки занимает, как сказано, минут пять, после чего оба стекла надо обмыть, верхнее положить вниз, нижнее отложить в сторону, а третье взять в качестве верхнего. Чтобы не сбиться, на стеклах надо сделать метки.

Понятно, ручек к стеклянным кружкам приклеивать не придется. Проще всего пользоваться куском пробки, подклеенным резиной. Такая ручка обыкновенно хорошо цепляется за стекло. Первые стадии шлифовки, пока стекла еще далеки от плоскости и могут заедать, можно проделать держа кружки просто пальцами.

Если кружки слишком малы, то добиться правильной поверхности очень трудно; на краях почти неизбежен сильный завал вследствие «опрокидывания» стекла при движении взад и вперед. Наименьший диаметр будет 40—50 *мм*. Для изготовления меньших стекол можно поступить следующим образом. Вырезав три кружка стекла диаметром на 20—30 *мм* больше, чем нужный диаметр зеркальца, мы затем просверлим в каждом по концентрическому круговому желобку почти насквозь будущего зеркальца. По окончании шлифовки и полировки мы просверлим кружок до конца и отбросим ненужное теперь наружное кольцо, на котором, вероятно, образовался при обработке завал.

Казалось бы, можно сделать гораздо проще, именно, изготовить

плоское зеркальце несколько большего размера, чем нужно, и вырезать из него среднюю часть, отбросив края. К сожалению, обычное стекло при резке коробится; поэтому, как бы хорошо ни был отшлифован кружок, вырезанная из него часть все равно окажется непригодной.

Шлифовка ведется в остальном совершенно так же, как и в случае вогнутого зеркала; нужно только при переходе к более мелкому сорту наждака особенно тщательно следить за чистотой, чтобы не оставалось никаких царапин.

4. *Полировка* производится обычным способом, на смоляном полировальнике. Маленькие диски удобнее полировать сверху, сделав полировальник на кружке из толстого стекла или, еще лучше, на стеклянной пробке подходящего размера. Фасетки должны быть соответственно размеру полировальника маленькие, со стороной около 1 *см.* Полировать надо все три кружка попеременно; как мы сейчас увидим, все они будут нужны для контроля поверхности. Через 2—3 часа поверхность кружков уже хорошо заблестит и можно будет приступить к окончательной отделке поверхности (к фигуризации).

Если в нашем распоряжении оказалось хорошее зеркальное стекло, то, начав прямо с полировки, мы через такой срок, вероятно, будем уже приближаться к цели.

Для контроля поверхности нашего будущего зеркальца мы воспользуемся интерференционным способом, широко применяемым при производстве мелких и средних оптических деталей. Этот способ основан на наблюдении интерференционных полос, возникающих при прикладывании одной к другой полированных поверхностей. Не останавливаясь здесь на теоретической стороне дела (незнакомые с ней могут обратиться к любому учебнику оптики), скажем лишь о том, что необходимо для работы. Если наложить точно плоское стекло на другое такое же плоское стекло, то, рассматривая их на темном фоне при падающем белом свете, мы увидим радужные полосы, которые будут совершенно прямыми. Если стекла совершенно чисты и ничто, следовательно, не мешает им соприкоснуться очень тесно, мы увидим, что эти полосы будут на наших глазах расширяться и уменьшаться в числе, пока не останется лишь одна полоса шириной во все стекло; но и та будет продолжать раздвигаться, и от всей радуги наконец, останется лишь один цвет, например зеленый, равномерно заливающий всю поверхность стекла. Если мы осторожно приподнимем верхнее стекло с одного края, то снова появятся параллельные полосы, яркость и контраст которых уменьшаются к приподнятому краю. Из сказанного можно видеть, что ширина полос и расстояние между ними зависят от угла наклона одной плоскости по отношению к другой: чем меньше воздушный клин между стеклами, тем шире полосы, и наоборот.

Легко понять, что полосы окажутся искривленными, если стекла не совершенно плоски; положим, что одно из них слегка выпукло. Очевидно, воздушный клин не будет уже иметь одинаковой толщины ни по какому направлению; от этого полосы изогнутся дугами, а при точном накладывании одного стекла на другое мы получим кольцевые полосы («кольца Ньютона»). Кривизна полос позволяет не только заметить кривизну поверхности, но и определить характер поверхности, т. е. выпуклая она или вогнутая, а также измерить степень ее отклонения от плоскости.

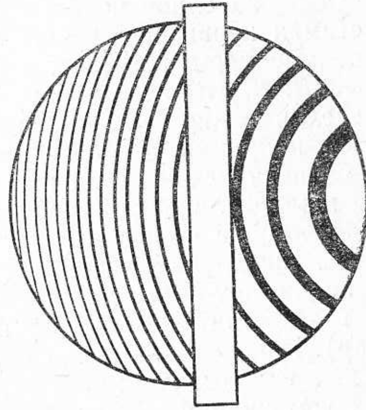


Рис. 5. Вид интерференционных полос в случае выпуклости испытываемого стекла (предполагается, что на него наложено в точности плоское пробное стекло). С правой стороны полосы шире и сильнее искривлены, что указывает на более тесное соприкосновение стекол. Приложенная линейка позволяет определить кривизну стекла (в данном случае выпуклость составляет около трех полос)

Вполне понятно, что при накладывании выпуклой поверхности на плоскую взаимный наклон той и другой будет возрастать по направлению от центра к периферии; в случае вогнутой поверхности положение будет, разумеется, обратным. Вследствие этого при накладывании выпуклого стекла на плоское интерференционные полосы будут обращены своими выпуклостями в сторону приподнятого края, а в случае вогнутой — прочь от него, т. е. в ту сторону, где стекла сближены сильнее.

Если иметь заведомо точно плоское стекло («пробное стекло», или калибр), то ничего не стоит определить характер обрабатываемой поверхности, прикладывая его к ней. Неправильная поверхность дает и полосы неправильные. Например, заваленный край даст «выпуклые» концы полос, а вогнутая середина — «вогнутые» средние части; это, между прочим, наиболее часто встречающийся дефект у начинающих. Рис. 5. наглядно объясняет сказанное.

Заметим, что есть еще очень наглядный способ определить характер испытуемой поверхности: если при опускании головы (т. е. при увеличении угла падения лучей) видимые полосы будут «разбегаться» от центра к краям, это значит, что поверхность выпуклая; если же они будут, напротив, «сбегаться» к центру, то поверхность вогнутая. При подымании головы картина будет, конечно, обратная.

Отклонение поверхности от требуемой (в нашем случае — от плоскости) принято оценивать в величине стрелки прогиба полосы, выраженной в долях ширины этой же полосы. Если полоса изогнута настолько, что наибольшее ее отклонение от прямой (хорды), проведенной от начала к концу полосы, равно ширине всей полосы (т. е. например расстоянию от красного края полосы до красного края следующей полосы), то говорят, что «кривизна равна одной полосе». Для наших целей наибольшая допустимая кривизна — в четверть полосы или, в переводе на линейные меры, в $^1/_8$ длины волны света, т. е. в среднем около 0,00007 *мм*. Но нужно иметь в виду, что это самый крайний предел, и нужно постараться добиться большей точности поверхности, например $^1/_5$—$^1/_6$ полосы.

Степень искривления полос можно хорошо оценить на глаз при помощи линейки (удобнее прозрачная) или карандаша, положенного на стекло в направлении касательной к выпуклости полос. Еще лучше держать карандаш над стеклами и сравнивать кривизну полос с прямым краем отражения карандаша.

Так обстоит дело, если у нас есть точно плоское стекло (калибр). Когда его нет, определяют поверхность каждого из трех стекол, складывая их поочередно одно с другим во всех возможных комбинациях. Это дает возможность составить нужные три уравнения, из которых найдем все три неизвестные, т. е. определим истинные поверхности каждого из наших стекол в отдельности.

Условимся обозначать выпуклость знаком +, а вогнутость знаком —. Положим, что мы получили следующие результаты от складывания стекол № 1 с № 2, № 1 с № 3 и № 2 с № 3: № 1+№ 2=—1; № 1 +№ 3=—2; № 2 +№ 3=+1.

Решаем эти уравнения обычным образом и находим: № 1 = =—2, № 2=+1, № 3=0. Значит стекло № 1 вогнутое в две полосы, стекло № 2 выпуклое в одну полосу, а стекло № 3 точно плоское.

Нет необходимости доводить до законченного состояния все три стекла, а можно ограничиться лишь одним; два другие, хотя бы и не до конца отполированные, сослужили свою службу при испытании.

Сама фигуризация, или изменение формы поверхности в нужную сторону и устранение местных неправильностей, мало отличается от той, которая нам уже знакома по изготовлению вогнутого зеркала. Нужно лишь еще раз отметить одну существенную особенность плоских поверхностей. Она состоит в их крайней неустойчивости по сравнению с поверхностью сферической, которая может сохраниться неизменной в продолжение многочасовой обработки. Плоская поверхность, строго говоря, меняется при полировке ежеминутно, становясь то вогнутой, то выпуклой. Задача, следовательно, состоит здесь в том, чтобы поймать момент, когда поверхность станет плоской, и не давать

ей сильно отклоняться в ту или другую сторону. На время перерыва в работе очень полезно накладывать на полировальник самое плоское из стекол; это предохранит смоляную поверхность от деформации.

Нужно помнить и о влиянии температуры. Небольшие колебания температуры очень сильно коробят маленькое стеклышко; в этом легко убедиться, дохнув на сложенные для испытания стекла или приложив палец к верхнему стеклу.

Несколько замечаний о самой технике испытания. Прежде всего, стекла, прикладываемые одно к другому, должны быть очень чисты, малейшая соринка не дает им сложиться достаточно плотно и может, кроме того, сделать царапины. Ни в коем случае нельзя позволять стеклам ерзать одному по другому, иначе царапины неизбежны. Очень важно правильное освещение. Строго говоря, нужен монохроматический свет (например желтый свет натриевого пламени), но можно обойтись и обыкновенной лампой; необходимо лишь поместить лампу как можно выше над головой, чтобы можно было рассматривать стекла, по возможности, вертикально сверху. Чтобы свет был рассеянный, надо завесить лампу тонкой бумагой или тканью.

Придерживаясь этих кратких указаний, можно изготовить очень хорошее плоское зеркальце. Недостатком его будет однако, что оно круглое, а не эллиптическое и, следовательно, его проекция на главном зеркале будет вызывать дополнительное экранирование, впрочем, весьма незначительное, с которым можно будет поэтому и не считаться.

СЕРЕБРЕНИЕ ЗЕРКАЛ

Любитель непременно должен уметь сам серебрить свои зеркала так как серебряный слой приходится возобновлять не реже раза в год, а в большинстве случаев — гораздо чаще. Овладеть этим искусством может, конечно, всякий, но для того чтобы действительно хорошо посеребрить зеркало, нужен опыт и большая тщательность в работе.

Основное условие успеха — образцовая чистота во всем, начиная с самого зеркала и кончая посудой. Все вещества, применяющиеся для серебрения, должны быть химически чистыми; воду можно употреблять только дестиллированную (ее можно достать в аптеке).

Суть процесса серебрения, каким бы рецептом мы ни воспользовались, состоит в том, что из раствора соли серебра посред-

ством добавления восстанавливающих веществ выделяется металлическое серебро, которое отлагается в виде зеркальной пленки на полированном стекле. Хотя этот химический процесс очень сложен и даже до конца еще не изучен, практика серебрения разработана настолько хорошо, что при соблюдении всех правил успех обеспечен.

1. *Материалы.* 1) Азотнокислое серебро (ляпис); 2) едкое кали (или натр), химически чистое; 3) чистый нашатырный спирт (водный раствор аммиака); 4) сахар-рафинад; 5) азотная кислота (крепкая, химически чистая); 6) винный спирт (ректификат); 7) дестиллированная вода; 8) гигроскопическая вата; 9) фильтровальная бумага; 10) хорошая, плотная бумага; 11) парафин или воск; 12) кусок замши или мягкой бумазеи; 13) бечевка тонкая; 14) резиновые перчатки или напальчники.

2. *Посуда.* Для серебрения 150-миллиметрового зеркала нужна следующая посуда 1) банка, емкостью в 400—500 *см*^{3}; 2) 3—4 склянки, емкостью от 0,25 до 1 *л*; 3) две мензурки (одна на 100—200 *см*^{3}, другая на 10—25 *см*^{3}); 4) колба или чистая эмалированная кастрюля, емкостью в 0,5—1 *л*; 5) капельница.

3. *Приготовление растворов.* 1) Раствор азотнокислого серебра: азотнокислого серебра — 10 г, дестиллированной воды — 200 *см*^{3}; 2) восстанавливающий раствор: сахара-рафинада — 70 *г*, дестиллированной воды — 250 *см*^{3}. По растворении сахара нужно добавить 3,5 *см*^{3} крепкой азотной кислоты и кипятить на легком огне до появления лимонно-желтой окраски; по остывании добавить 50 *см*^{3} спирта-ректификата и долить дестиллированной воды до 1000 *см*^{3}. Восстанавливающий раствор должен перед употреблением постоять несколько дней; хранить его можно неограниченно долго. Остальные растворы надо приготовить лишь непосредственно перед употреблением.

Вся посуда должна быть перед употреблением тщательно вымыта крепкой азотной кислотой, крепким раствором едкой щелочи, тщательно промыта водой из-под крана и ополоснута дестиллированной водой. Вытирать посуду нельзя, а надо высушивать. Запасные реактивы и чистую посуду надо тщательно защищать от пыли. Едкая щелочь должна быть закупорена особенно плотно для предохранения от влаги и углекислоты воздуха (пробку залить парафином).

4. *Чистка зеркала.* Поверхность, подлежащая серебрению, должна быть химически очищена; качество серебрения в первую очередь зависит от того, насколько тщательно очищена поверхность перед серебрением.

Удалив ручку (как мы уже упоминали, это делается резким ударом по ней сбоку), надо соскоблить смолу с задней поверхности зеркала и вычистить ее керосином или бензином. Край зеркала, на котором после полировки остался плотный красный

налет крокуса, также надо обмыть керосином или бензином. Затем все зеркало тщательно моется с мылом, обсушивается и промывается азотной кислотой (если она была концентрированная, то разведенной вдвое водой) при помощи ваты. Понятно, что голыми руками этого делать нельзя, а либо в резиновых перчатках, либо держа вату двумя лучинками или навертев ее на палочку (вообще с азотной кислотой надо обращаться осторожно!). Мыть азотной кислотой надо со всех сторон и очень тщательно, пока не будет скрипеть везде при трении ватой с кислотой. После азотной кислоты зеркало надо обмыть водой и тщательно протереть ватой с крепким раствором едкой щелочи (со щелочью нужна не меньшая осторожность!). Наконец, зеркало обмывают большим количеством воды, ополаскивают дестиллированной водой (если поверхность очищена хорошо, то вода нигде не должна сбегать с нее, а оставаться тонкой, равномерной пленкой) и быстро завертывают в несколько слоев чистой фильтровальной бумаги для обсушки и защиты от пыли.

Ни в коем случае нельзя ни во время чистки, ни после нее касаться пальцами лицевой поверхности зеркала во избежание загрязнения ее жиром. Жирные пятна не покроются серебром.

Надо избегать обливать зеркало холодной водой; на холодное стекло серебряный слой осаждается хуже, а от слишком резкого охлаждения зеркало может даже треснуть.

5. *Приготовление серебряного раствора.* В банку вливают столько азотнокислого серебра, чтобы на каждые 100 см^2 поверхности зеркала пришлось 3—4 *г* азотнокислого серебра (для 150-миллиметрового зеркала — 100—130 *см*^{3}), и начинают прибавлять к нему по каплям из капельницы нашатырный спирт, все время взбалтывая. Раствор сразу помутнеет от выделения коричневой окиси серебра. По мере дальнейшего прибавления нашатырного спирта осадок начнет переходить в раствор, и жидкость будет снова светлеть. Нашатырного спирта надо прибавлять столько, чтобы осадка осталось чуть-чуть; если же жидкость станет совершенно прозрачной, это значит, что нашатырного спирта добавлено слишком много, и тогда серебрение будет неудачно. В таком случае нужно по каплям добавить столько раствора азотнокислого серебра, чтобы раствор снова чуть-чуть пожелтел и замутился.

Затем в другую банку отмеривается столько же раствора щелочи, сколько было взято раствора азотнокислого серебра, и вливается при сильном взбалтывании в раствор азотнокислого серебра с нашатырным спиртом; получается снова темнокоричневый осадок. Этот осадок опять растворяют, добавляя нашатырный спирт по каплям. При этом нужно остерегаться избытка, как вначале. Получившийся раствор должен быть слегка мутноват; если же он прозрачен, как вода, то это опять-таки указывает на избыток нашатырного спирта. В таком случае надо снова доба-

вить столько раствора азотнокислого серебра, чтобы раствор чуть-чуть замутился.

Теперь отмерим вдвое меньшее количество восстанавливающей смеси, чем было взято раствора азотнокислого серебра (т. е. от 50 до 65 *см*³), и у нас все будет готово для серебрения; достаточно влить восстанавливающий раствор в серебряный раствор, чтобы тотчас же началось выделение серебра.

6. *Серебрение.* Для того чтобы налить серебряный раствор на зеркало, нужно сделать бортик из парафинированной бумаги. Возьмем полоску хорошей бумаги шириной примерно в $^2/_3$ поперечника зеркала и длиной в 1,25—1,5 его окружности (т. е. около 100 *мм* шириной и 60—70 *см* длиной для 150-миллиметрового зеркала). Развернем зеркало и положим его вогнутой поверхностью вниз на подставочку, обернутую фильтровальной бумагой; высота этой подставки должна быть примерно на толщину зеркала меньше поперечника зеркала. Растопив на сковороде парафин, пропитаем им бумажную полоску, протягивая ее туда и сюда, и, еще теплую, обернем вокруг зеркала так, чтобы нижний край полосы стал на стол; убедившись, что между бумагой и краем зеркала нет щели, крепко обвяжем вокруг бечевкой, срежем лезвием бритвы выдающийся над задней стороной зеркала избыток бумаги и тщательно смажем и шов, и край горячим парафином. Теперь борт вокруг зеркала готов.

Осторожно перевернем зеркало, очистив край бумажного борта от парафина, могущего стечь (остерегаться уронить кусочек на лицевую сторону зеркала!).

Надо заметить, что раствор серебра с нашатырным спиртом ни в коем случае нельзя оставлять стоять надолго. Помимо того, что он от стояния портится, в нем может образоваться при стоянии сильно взрывчатое гремучее серебро, не раз бывшее причиной несчастий. Поэтому нельзя заготовлять его впрок, а лишь непосредственно перед серебрением.

Теперь приступаем к самому серебрению. Быстро вливаем отмеренный восстанавливающий раствор в серебряный раствор, взбалтываем и тотчас же выливаем смесь на зеркало. Чуть желтоватая вначале, смесь через 2—3 секунды краснеет, а немного спустя чернеет, и начинается образование серебряного слоя. С самого первого момента и до конца серебрения надо поддерживать серебрящую смесь в непрерывном движении, энергично двигая зеркало, иначе осаждение серебряного слоя будет идти неравномерно, а выделяющиеся хлопья осадка вызовут образование пятен и дырок на слое серебра. Для того чтобы избежать прилипания хлопьев осадка к серебряному слою, поступают следующим образом. Как только поверхность зеркала заблестела от образовавшегося на ней металлического слоя и стали заметны осевшие на нем хлопья осадка, в жидкость бросают один за другим кусочки ваты размером с грецкий орех (вату надо нащипать

заранее); ерзая во все стороны вместе с жидкостью, куски ваты будут сметать образующийся осадок со слоя. В это время особенно важно поддерживать жидкость в энергичном движении; так как одному трудно справиться с работой, очень желательно заручиться помощником, который бросал бы кусочки ваты в жидкость, поддерживаемую в возможно более быстром, лучше всего — вращательном, движении.

Постепенно жидкость светлеет, пока не станет почти прозрачной. На ее поверхности появляются сероватометаллические пленки. К этому времени (от 3 до 10 мин. после начала серебрения) серебрение можно считать законченным. Раствор вместе с выделившимся осадком излишнего серебра быстро сливают, бумажный бортик удаляют и зеркало обильно обмывают водой, осторожно обтирают без всякого нажима под струей воды клоком гигроскопической ваты и ополаскивают дестиллированной водой.

Только что осажденный слой серебра должен быть зеркально блестящ и иметь лишь легкий желтоватый оттенок, исчезающий при высыхании. Сушка должна происходить как можно быстрее; лучше всего обсушить слой при помощи фильтровальной бумаги. Чтобы не повредить при этом нежную пленку серебра, накладывают несколько слоев фильтровальной бумаги на серебряный слой, и, крепко прижав бумагу к краю зеркала левой рукой, ребром правой ладони несколько раз проводят по бумаге слева направо, осторожно удаляют бумагу (не стаскивать вбок, а поднимать прямо кверху!) и ставят зеркало на ребро для окончательной просушки.

Высохший слой должен быть совершенно равномерным, без пятен и подтеков и при рассматривании на просвет почти непрозрачным. Лишь самые яркие источники света (например волосок лампочки) могут просвечивать сквозь серебряный слой голубым светом. Проверять плотность слоя надо немедленно по сливании серебрящего раствора; если слой окажется тонок, то можно повторить серебрение. Но перед повторным серебрением зеркалу нельзя давать подсыхать, а нужно налить на него дестиллированной воды, к которой добавлено несколько капель нашатырного спирта.

Хороший серебряный слой почти не нуждается в полировке, настолько он чист и блестящ. Но далеко не всегда, особенно у начинающих, серебрение проходит так удачно. Обычно зеркало получается мутноватым, как бы покрытым белым налетом. Этот налет может быть удален полировкой серебряного слоя. Полировать можно лишь совершенно высохший слой, лучше не ранее чем на следующий день после серебрения. Сначала нужно тщательно смахнуть пыль клочком чистой ваты без малейшего нажатия, и только тогда можно начать осторожно тереть серебряный слой другим, совершенно чистым комком ваты, описывая им круги и эллипсы и чуть-чуть нажимая. Через несколько минут

уже от этой обработки серебряный слой начнет как бы яснеть, а беловатая муть сходить с него. Тогда можно взять на ту же вату немного сухого крокуса (предварительно растертого в мокром виде между двумя тонко пришлифованными стеклами), отряхнуть, чтобы от крокуса на вате остались буквально следы, и продолжать полировку. Остатки дымки обычно сходят быстро, и поверхность получает прекрасный блеск. Если же полировка местами идет плохо и остается неровная муть, что значит, что поверхность стекла была плохо вымыта перед серебрением. В таком случае не помогает даже и продолжительное полирование, и остается только заново посеребрить зеркало.

Серебрение — довольно деликатный и не сразу дающийся процесс. Не следует однако смущаться неудачами. Причины этих неудач чаще всего таковы.

1. *Нечистая поверхность зеркала.* Надо иметь в виду, что зеркало должно быть чисто со всех сторон, а не только на вогнутой поверхности, так как грязь может быть незаметно занесена на вогнутую поверхность, особенно с боков зеркала. Ни в коем случае нельзя прикасаться (особенно пальцами) к поверхности зеркала после чистки; заметим здесь, что вообще не следует трогать руками оптические поверхности.

2. *Нечистая посуда.* Все, включая бутылки для растворов, должно быть вымыто столь же тщательно, как и само зеркало.

3. *Нечистые химикалии.* Примеси в азотно-кислом серебре, едкой щелочи, в воде неизбежно вызовут муть в серебряном слое. Особенно вреден хлор, который содержится в водопроводной воде и в нечистой едкой щелочи. Щелочь надо тщательно защищать от воздуха, откуда она легко поглощает углекислый газ превращаясь в углекислую соль, примесь которой также вредна.

4. *Слишком высокая или низкая температура.* Лучше всего серебрить при температуре около 20°. Чем теплее раствор, тем меньше нужно восстанавливающего раствора. Само зеркало ни в коем случае не должно быть холоднее раствора.

5. *Избыток нашатырного спирта.* Если его слишком много, серебро вообще может совершенно не выделиться.

Малое зеркальце серебрить гораздо легче, чем большое. Его после чистки и промывки можно просто положить на дно посудинки подходящего размера и залить серебрящей смесью. Совершенно так же, как и при серебрении большого зеркала, образующийся осадок удаляют клочком ваты; здесь можно просто осторожно двигать по поверхности зеркальца ватку, держа ее на стеклянной палочке или лучинке, разумеется, на весу, без всякого нажима.

Серебряный слой очень нежен и легко повреждается. Поэтому с зеркалом надо обращаться осторожно. Прежде всего, нельзя прикасаться к нему пальцами: жир вызывает пятна и отставание серебра. Запотевание (при внесении холодного зеркала в теплое

помещение или при наблюдениях в холодную ночь без соответ-
ствующих предосторожностей против оседания росы) также мо-
жет вызвать порчу и отставание серебряного слоя. Наконец, от
сероводорода и некоторых других газов серебро темнеет; поэтому
нужно стараться защищать зеркало от напрасного соприкосно-
вения с воздухом, закрывая его крышкой или стеклом. Хорошо
посеребренное зеркало может служить год и более, но продол-
жительность службы сильно зависит от места: в фабричных го-
родах или на берегу моря серебряный слой иногда совершенно
темнеет через 2—3 месяца.

ПРОСТАЯ УСТАНОВКА РЕФЛЕКТОРА

Имея главное вогнутое зеркало и вспомогательное плоское
зеркальце, можно производить наблюдения вовсе без трубы и
штатива, устроив примитивную установку из хорошей доски, ши-
риной на 2—3 *см* больше диаметра зеркала, длиной немного более
фокусного расстояния и толщиной в 2—2,5 *см* (рис. 6). К одному

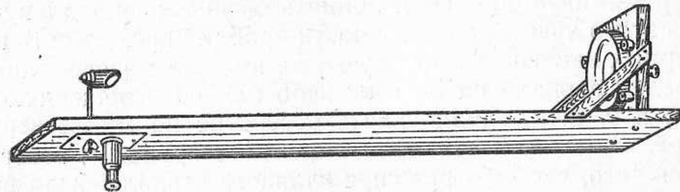


Рис. 6. «Чикинская доска» для предварительной монтировки. Описанное в тексте устройство окулярной части доски несколько упрощено по сравнению с показанным на рисунке

из концов доски крепко привинчивается перпендикулярная квад-
ратная доска, немного бо́льшая, чем зеркало. Для прочности ее
надо укрепить косяками из планок. Три пробки или три шурупа,
обтянутые резиновой трубкой, будут служить для удержания
зеркала. Сквозь эту доску с задней стороны надо пропустить
три шурупа так, чтобы зеркало могло лечь на их концы тремя
точками своей задней поверхности; этими шурупами можно бу-
дет регулировать положение зеркала при юстировке нашего
«телескопа».

Установив зеркало на доске, направим его на Солнце или
Луну и поймаем изображение на кусочек белого картона; ото-
двигая и придвигая картон, найдем положение, при котором

изображение будет всего резче и в котором, следовательно, будет находиться главный фокус. Отметим его на доске. Отмерим затем от точки фокуса по направлению к зеркалу расстояние, равное половине диаметра зеркала + толщина доски + 5 *см*. Пропилим в этом месте по средней линии доски отверстие шириной в 4 *см* и длиной немногим более этого. Против этого отверстия нужно теперь приладить плоское зеркальце. Согнем довольно толстую (3 *мм*) проволоку в виде буквы Г и наденем на ее короткое плечо толстую пробку, наружный конец которой срезан наискось под углом в 45°. К косой поверхности пробки приклеим твердой смолой наше плоское зеркальце, а свободный конец проволоки пропустим в сквозную дырку в доске, высверленную около отверстия так, чтобы зеркальце приходилось как раз против его середины. Конец этот должен быть надежно закреплен; лучше всего, пожалуй, сделать на нем нарезку, при помощи которой он плотно ввинчивался бы в отверстие в доске. Это одновременно дает возможность поворачивать проволочную стойку вокруг своей оси, что может понадобиться для регулировки. Длина проволоки должна быть такова, чтобы центр зеркальца был как раз против центра главного зеркала, т. е. на расстоянии полудиаметра последнего от поверхности доски.

При наклеивании зеркальца на пробку надо иметь в виду, что оно может изогнуться. Для избежания этого следует воспользоваться текучестью смолы, которая позволит стеклу через некоторое время после наклейки принять свою первоначальную форму. Для этого лучше на поверхности пробки нарезать сеть перпендикулярных канавок на которую уже нанести разогретую смолу.

Наведем зеркало на светлое небо или на освещенную стену, потолок и т. п. и, глядя сквозь отверстие на малое зеркальце (которое, конечно, поставлено лицевой стороной к отверстию), добьемся того, чтобы отражение главного зеркала было видно в малом зеркальце; для этого последнее придется повернуть в ту или другую сторону, а если понадобится, то и немного погнуть проволоку. Затем обратим внимание на видимое в главном зеркале отражение малого зеркальца (оно должно быть точно в середине главного зеркала, в противном случае главное зеркало наклонено) и, завинчивая или вывинчивая три шурупа, на которых лежит главное зеркало, установим его так, чтобы глядя через отверстие в малое зеркальце, мы видели отражение последнего как раз в середине главного зеркала. Когда это достигнуто, наш инструмент отрегулирован (т. е. центрирован и юстирован: центр малого зеркальца находится точно на оптической оси главного зеркала). Если бы это не было сделано, изображение наблюдаемого предмета было бы далеко от оси, и возникли бы вредные аберрации, о которых мы говорили, описывая испытание главного зеркала. При наших умеренных относительных отверстиях (1 : 8—1 : 10) такой центрировки оказывается достаточно.

Остается приладить окуляр. Возьмем дощечку 7×7 *см*, толщиной в 4 *см*. Просверлим в ней отверстие примерно на 6—7 *мм* шире окуляра, тщательно выровняем его круглым напильником и оклеим бархатом или бумазеей. Склеим из бумаги плотную трубку в 8 *см* длиной и такого внутреннего диаметра, чтобы окуляр входил в нее довольно плотно. Наружный диаметр трубки должен быть такой, чтобы она плотно входила в оклеенное бархатом отверстие в дощечке и могла двигаться в нем с некоторым трением, но плавно. Просверлим в дощечке по углам дырки и привинтим ее к доске снаружи так, чтобы отверстие пришлось в середине отверстия доски прямо против малого зеркальца. Для точности лучше приладить к окулярной трубке колпачок с маленькой дырочкой в центре; глядя в эту дырочку, мы будем всегда держать глаз в центре трубки, на ее оси.

Проверим еще раз регулировку всей системы, смотря в окулярное отверстие и постепенно отодвигая голову от него; отражение малого зеркальца в главном зеркале должно при этом все время оставаться видимым, если глаз остается на перпендикуляре к доске, проведенном от центра малого зеркальца через центр окулярной трубки. Если оно отходит в сторону, нужно исправить положение малого зеркальца, повернуть его или изогнув проволоку.

Мы еще ничего не говорили об окуляре. Возможности любителя, конечно, очень ограничены, и ему придется пользоваться тем, что окажется доступным. В крайнем случае годится и обыкновенная лупа и даже простая линза (лучше плоско-выпуклая, повернутая выпуклой стороной к глазу). Рефлектор, вообще говоря, лучше выдерживает увеличение, чем рефрактор; десятикратная лупа ($f=25$ *мм*) может служить слабым окуляром, а двадцатикратная ($f=12{,}5$ *мм*) — сильным. Это еще далеко не предельное увеличение, но при таком увеличении практически можно будет видеть все, что способно дать хорошее зеркало.

Для начала лучше наблюдать Луну, яркие планеты Юпитер и Сатурн, а из звезд — Полярную, которая наиболее удобна из-за своей малой подвижности.

Здесь нет места для подробного изложения вопроса об испытании телескопа по небесным светилам. Скажем только, что хорошее зеркало диаметром в 150 *мм* должно разделять Полярную, ε и ζ Лиры, ε Волопаса, ζ Волопаса, π Лебедя, ζ Большой Медведицы, Ригель.

Наблюдать при помощи описанного устройства, конечно, неудобно, но на первых порах вполне возможно. Вместо штатива можно пользоваться просто стулом или высокой скамьей, опирая окулярный конец доски на спинку. Самое трудное вначале — это поймать светило в поле зрения нашего примитивного телескопа. Делать это надо так. Нацелившись сначала доской, как ружьем, т. е. глядя вдоль ее края, перейдем к переднему концу доски

и постараемся поймать глазом отражение светила, глядя спереди на зеркало; голову надо держать примерно на расстоянии 25—30 *см* от конца доски. Для этого может понадобиться взобраться на что-нибудь повыше. Если светила нигде поблизости от малого зеркальца не видно, медленно подвигаем доску в стороны, пока не увидим светило; тогда приведем доску в такое положение, чтобы изображение светила, малое зеркальце, центр главного зеркала и наш глаз оказались на одной прямой (т. е. чтобы светило скрылось за малым зеркальцем, проектирующимся около центра главного зеркала), и перейдем к окулярному отверстию. Заглянув туда (не слишком приближая глаз, а держа его на расстоянии 25 см), увидим светило и приведем его в середину отверстия подвинув, как надо, доску. Вставим тогда окуляр, и светило окажется в поле зрения. Наводку на фокус произведем легко, вдвигая и выдвигая бумажную трубку с окуляром (двигать надо, вращая ее, как бы ввинчивая и вывинчивая, тогда движение будет плавным).

Небольшое упражнение позволит скоро освоиться с этой «техникой», которая могла показаться читателю по предыдущему описанию сложной и утомительной.

Первые наблюдения, разумеется, целиком уйдут на испытание телескопа и на упражнения в пользовании им. Нужен, конечно, некоторый опыт, для того чтобы научиться следить за светилом, устанавливать на фокус, научиться разбираться в качестве изображений, на которые сильно влияет состояние атмосферы, колебания температуры, временно изменяющие форму зеркала, и т. п.

Как ни примитивна описанная здесь установка, при ее помощи не только можно испытать изготовленное зеркало, но и произвести наблюдения, могущие иметь научное значение или, во всяком случае, не слишком уступающие тем, которые делаются дорогими инструментами такого же диаметра. Для примера приводим фотографию Луны, сделанную одним из московских любителей астрономии при помощи такой установки и самодельных зеркал (рис. 7).

Конечно любитель будет всегда стремиться к более совершенной установке, однако многое зависит здесь уже от материальных возможностей. Но возможно достигнуть гораздо большего; каждый может устроить себе штатив, вполне пригодный для серьезных наблюдений и достаточно удобный. Любителю, имеющему желание и возможности для постройки хорошего штатива, мы рекомендуем познакомиться со статьями А. С. Фомина, которые приведены в списке литературы (стр. 50). На рис. 8 показан снимок поверхности Луны, полученный А. С. Фоминым с его рефлектором.

Размеры этой инструкции не позволяют подробнее изложить вопрос об устройстве штатива для телескопа, так же как и вопрос

об изготовлении своими силами окуляров (которое вполне возможно). Однако сообщить самые краткие указания о постройке штатива мы все же считаем необходимым.

Не следует думать, что надо стремиться непременно к сооружению штатива наиболее совершенной системы, т. е. настоящей параллактической установки. Параллактическая установка только тогда отвечает своему назначению, когда она очень хорошо выполнена. А это требует возможностей, которыми мало кто из любителей располагает. Плохо сработанная параллактическая установка вряд ли принесет больше пользы, чем описанная доска. Самая большая трудность, с которой приходится сталкиваться при сооружении установки — достижение устойчивости. Дрожание штатива делает наблюдения невозможными, в чем на своем опыте убеждается каждый, обладающий «настоящим» штативом,

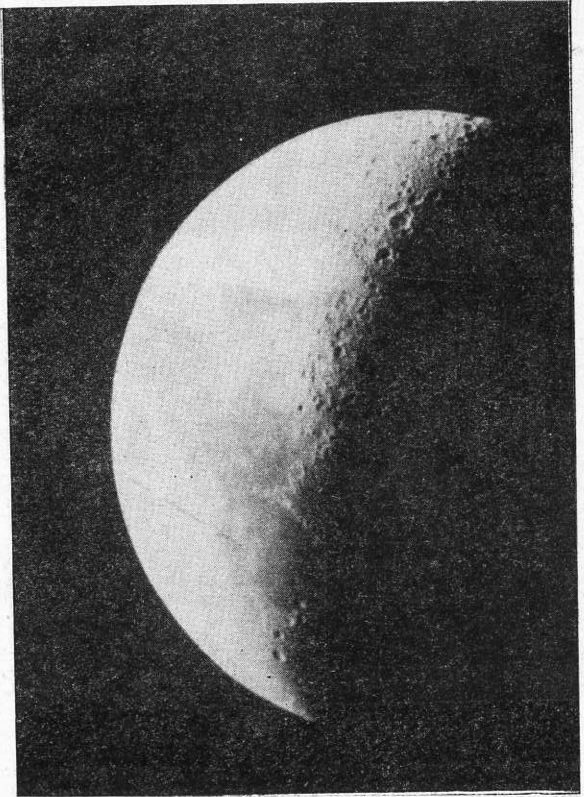


Рис. 7. Фотография Луны около первой четверти, полученная С. Чувахиным при помощи 115-миллиметрового зеркала, монтированного на чикинской доске.

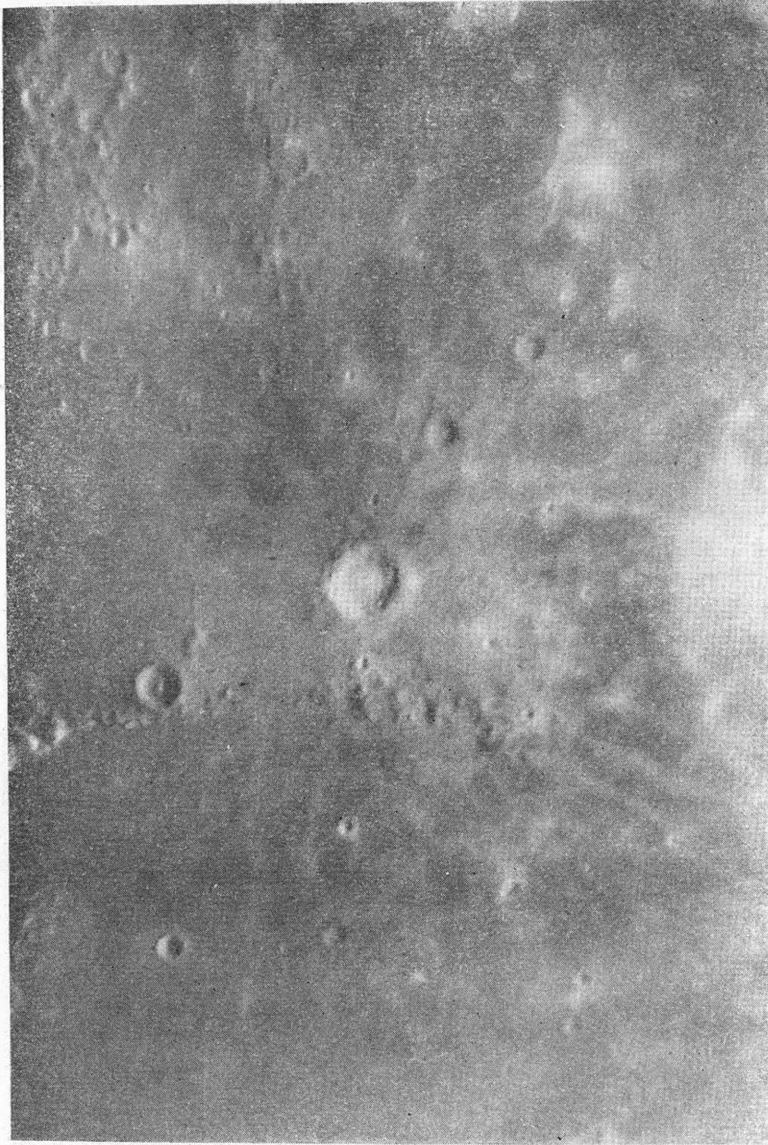


Рис. 8. Фотография части лунного диска близ кратера Коперник, полученная около последней четверти в кассегреновском фокусе 320-миллиметрового рефлектора, построенного А. С. Фоминым.
Поперечник лунного диска на негативе около 45 *мм*.

но не очень хорошо выполненным. Описанная выше предварительная «установка» на доске (ее с полным правом можно называть «чикинской», так как она впервые предложена А. А. Чикиным)

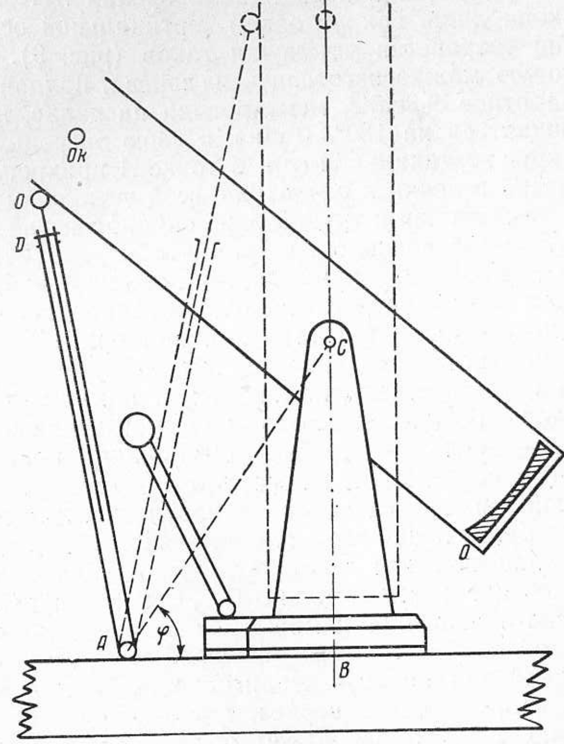


Рис. 9. Схема простого штатива, описанного в тексте

OO — труба телескопа, установленная на вилке *BC*. Вилка может вращаться около вертикальной оси, вместе с трубой, вращающейся в вертикальной плоскости около *C*. Подпорка *OA*, соединенная с трубой под окуляром и с основанием штатива в точке *A* при помощи шаровых головок, может раздвигаться; она состоит из трубки, внутрь которой входит стержень. Закрепляясь в любом положении, этот стержень может немного выдвигаться и вдвигаться при помощи винтовой муфточки *D*, для небольших перемещений по высоте во время наблюдения. *Ок* — окуляр, сохраняющий всегда горизонтальное положение

при всей своей примитивности обладает одним громадным преимуществом: она не подвержена дрожанию, так как опирается обоими своими концами (одним прямо на землю, другим о спинку стула, или что-либо иное). В прежние времена, когда механика находилась на очень примитивной стадии развития, этот принцип опоры конца, несущего окуляр, широко применялся выдающимися конструкторами и давал блестящие результаты. Мы, не

колеблясь, советуем начинающему любителю сперва отказаться от «настоящего» штатива, а устроить себе установку, использующую принцип подпорки. Ее можно построить таким образом, чтобы светило удерживалось в поле зрения путем поворачивания телескопа лишь вокруг одной вертикальной оси.

Принцип устройства установки таков (рис. 9). Труба телескопа, которую можно изготовить из дерева, придав ей для простоты квадратное сечение, монтирована на вилке, позволяющей ей поворачиваться на 180°. Вилка, в свою очередь, может вращаться вокруг вертикальной оси. В точке *A* прикреплена при помощи шаровой головки к основанию всей установки раздвижная подпорка, соединенная с трубой близ окуляра такой же шаровой головкой. Точка *A* расположена так, чтобы угол *CAB* был равен широте места наблюдения. Линия *AC* должна совпадать с меридианом. При таком устройстве, будучи закреплена в точке *C* относительно подпорки *OA* (так как подпорка *OA* удерживает точку *O* трубы всегда на одном и том же расстоянии от точки *A*), труба сможет вращаться лишь вокруг прямой *AC*; а эта прямая параллельна оси мира. Поэтому, раз установленная на какое-либо светило, после закрепления раздвижной подпорки, труба пойдет за этим светилом при поворачивании вокруг одной лишь вертикальной оси. Недостатком установки является лишь то, что поле зрения будет вращаться, как во всяком азимутальном штативе (хотя наш штатив и действует в основном как параллактический, он остается азимутальным). Для наблюдений это не имеет никакого значения и может оказаться вредно лишь при фотографировании с долгими выдержками. Другой недостаток описанной установки — непригодность ее для наблюдений в северной стороне неба; вернее, там ее придется применять, как простую азимутальную установку. Это тоже не столь страшно, так как большинство наблюдений производится в южной стороне неба.

Достоинства такой установки велики. Прежде всего — это уже отмеченная устойчивость, ради которой стоит пожертвовать всем остальным; закрепленная у окуляра труба не дрожит даже при сильном ветре. Далее, установка может быть сделана из любого материала (до дерева включительно), за исключением немногих частей, которые желательно сделать металлическими. Наконец, передвижения трубы во всех отношениях чрезвычайно удобны. Так как до вертикальной оси можно легко достать рукой, глядя в окуляр, то достаточно короткого ключа, соединенного с простым устройством (например, обтянутым резиной валиком, цепляющимся посредством трения за втулку вертикальной оси), чтобы во время наблюдений вращать трубу для удержания светила в поле зрения. Точно также чрезвычайно удобно делать малые перемещения по высоте при помощи нарезной муфточки, сдвигающей и раздвигающей подпорку *OA*.

Наблюдать с такой установкой чрезвычайно приятно. Если сделать ее достаточно массивной, то ее устойчивость совершенно исключительна. При желании можно приладить к ней и часовой механизм, который даже и при малой точности ведения освободит правую руку, занятую поворачиванием инструмента за светилом. Большим удобством является также и то, что окуляр при всех положениях остается горизонтальным, а не меняет свой наклон, как при настоящей параллактической монтировке (к востоку от меридиана окуляр наклонен кверху, а когда светило находится к западу, приходится заходить с другой стороны, а то и в очень неудобном положении нагибаться над трубой). У настоящих параллактически монтированных рефлекторов приходится устраивать особое приспособление для устранения этого неудобства: либо вся труба делается поворачивающейся вокруг своей оптической оси, либо может поворачиваться ее окулярная часть.

Рефлектор с зеркалом в 150 *мм* принадлежит к сравнительно сильным инструментам; с его помощью можно не только своими глазами видеть все, о чем сообщают популярные книги по астрономии, но и сделать много наблюдений, имеющих научное значение. Приобрести готовый инструмент такой силы для любителя практически невозможно. Поэтому мы, не колеблясь, рекомендуем попытаться своими силами создать его. При настойчивости и настоящем желании успех гарантирован.

Сооружение телескопа своими силами не теряет привлекательности и значения даже и при возможности приобретения готового инструмента. Но наблюдения всегда будут иметь особую прелесть, если инструмент самодельный. Для любителя много значит создать такой тончайший прибор, как телескоп, своими собственными руками из бесформенных кусков материала и на своем опыте понять каждую деталь его действия. А понять по-настоящему можно лишь после работы над постройкой телескопа. Бескорыстный труд, соединенный с громадным энтузиазмом, всегда отличавшим любителей астрономии, не может остаться бесплодным: недаром все крупнейшие телескопостроители начинали с любительства. Любителем был и основатель астрономической оптики в нашей стране А. А. Чикин, в качестве любителя начал и выдающийся наш специалист по астрономической оптике Д. Д. Максутов. В нашей стране, где творческой инициативе предоставлены такие исключительные возможности, незаметный вначале труд энтузиастов-одиночек может легко вылиться в коллективное начинание, которое окажет решительное влияние на развитие техники телескопостроения, в которой СССР давно занимает почетное место, и уже недалек тот день, когда наша страна и в этой области станет ведущей.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. А. Чикин. Отражательные телескопы (Изготовление рефлекторов доступными для любителей средствами.) Петроград, Изд. Русского Об-ва любителей мироведения, 1915.
2. Д. Д. Максутов. Теневые методы испытания оптических систем. ОНТИ, 1934.
3. Д. Д. Максутов. Астрономическая оптика. Гостехиздат, 1946.
4. Г. Димитров и Д. Бэкэр. Телескопы и принадлежности к ним. Гостехиздат, 1947.
5. Д. Д. Максутов. Изготовление и исследование астрономической оптики. Гостехиздат, 1948.
6. М. С. Навашин. Самодельный телескоп-рефлектор. Гостехиздат, 1953.
7. А. С. Фомин. Некоторые вопросы изготовления небольших рефлекторов. Бюлл. ВАГО № 18(25), 1956.
8. А. С. Фомин. Самодельный 320-миллиметровый рефлектор. Бюлл. ВАГО № 29(36), 1961.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 3
Изготовление главного зеркала 5
1. Материалы и приспособления 5
2. Шлифовка 9
3. Полировка и фигуризация 13
Изготовление вспомогательного плоского зеркальца 26
Серебрение зеркала 35
Простая установка рефлектора 41
Литература 50

Михаил Сергеевич Навашин

Инструкция
к изготовлению самодельного телескопа-рефлектора

Утверждено к печати

Центральным советом
Всесоюзного астрономо-геодезического общества
Академии наук СССР

Редактор *В. А. Бронштэйн*
РИСО АН СССР № 94-21В. Сдано в набор 30/IX 1961 г.
Подписано к печати 12/I 1962 г.
Формат 60×90 1/16. Печ. л. 3 1/4. Уч.-издат. л. 3,1

Цена 21 коп.

Издательство Академии наук СССР
Москва, Б-62, Подсосенский пер., 21

2-я типография Издательства
Москва, Г-99, Шубинский пер., 10